



TUGAS AKHIR - TF 141581

**PERANCANGAN SISTEM PENGUKURAN
TUNABILITY LASER DFB DENGAN TEKNIK
*HETERODYNE BEAT SIGNAL***

SITI SULIKHAH
NRP. 2411 100 074

Dosen Pembimbing :
Dr. Bambang Widiyatmoko, M.Eng
Prof. Dr. Ir. Sekartedjo, M.Sc

JURUSAN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2015



FINAL PROJECT - TF 141581

DESIGN OF DFB LASER TUNABILITY MEASUREMENT SYSTEM BY USING HETERODYNE BEAT SIGNAL TECHNIQUE

**SITI SULIKHAH
NRP. 2411 100 074**

**Supervisors :
Dr. Bambang Widiyatmoko, M.Eng
Prof. Dr. Ir. Sekartedjo, M.Sc**

**ENGINEERING PHYSICS DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2015**

LEMBAR PENGESAHAN

PERANCANGAN SISTEM PENGUKURAN TUNABILITY LASER DFB DENGAN TEKNIK HETERODYNE BEAT SIGNAL

TUGAS AKHIR

Oleh:

SITI SULIKHAH
NRP. 2411 100 074


Surabaya, Januari 2015
Mengetahui/Menyetujui,

Pembimbing I



(Dr. Bambang Widiyatmoko, M.Eng)
NIP. 19620430 198803 1 001

Pembimbing II



(Prof. Dr. Ir. Sekartedjo, MSc)
NIP. 19500402 197901 1 001

Ketua Jurusan
Teknik Fisika, FTI – ITS



(Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA)
NIP. 19650309 199002 1 001

LEMBAR PENGESAHAN

PERANCANGAN SISTEM PENGUKURAN TUNABILITY LASER DFB DENGAN TEKNIK HETERODYNE BEAT SIGNAL

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang Studi Rekayasa Fotonika
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Siti Sulikhah
NRP 2411100074

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

Dr. Bambang Widiyatmoko, M.Eng

.....(Pembimbing)

Prof. Dr. Ir. Sekartedjo, M.Sc

.....(Pembimbing)

Ir. Apriani Kusumawardhani, M.Sc

.....(Ketua Penguji)

Ir. Heru Setijono, M.Sc

.....(Penguji)

Dyah Sawitri, ST, MT

.....(Penguji)

Detak Yan Pratama, ST, M.Sc

.....(Penguji)

SURABAYA, Januari 2015

PERANCANGAN SISTEM *PENGUKURAN TUNABILITY LASER* DFB DENGAN TEKNIK *HETERODYNE BEAT SIGNAL*

NAMA : SITI SULIKHAH
NRP : 2411 100 074
JURUSAN : TEKNIK FISIKA
DOSEN PEMBIMBING : Dr. Bambang Widiyatmoko, M.Eng
Prof, Dr, Ir. Sekartedjo, M.Sc

Abstrak

Pengukuran *tunability* laser merupakan salah satu cara untuk mengetahui kemampuan tala dari sebuah laser. *Tunability* laser menyatakan kemampuan tala panjang gelombang laser yang dipengaruhi oleh variabel kontrol. Selama ini pengukuran *tunability* laser dilakukan menggunakan *Optical Spectrum Analyzer* (OSA) yang memiliki performansi pengukuran tidak cukup baik utamanya bila laser akan digunakan untuk keperluan khusus seperti pembangkit *mm-wave*. Pada penelitian ini telah dilakukan perancangan sistem pengukuran *tunability* laser dengan teknik *heterodyne beat signal* yang terdiri atas laser *Distributed Feedback Laser* (DFB) tipe Anritsu dan Eudyna, *fiber coupler*, OSA, fotodetektor dan *RF Spectrum Analyzer*. Laser DFB memiliki kemampuan tala dan kestabilan frekuensi terbangkit yang baik. Pengukuran *tunability* laser dengan teknik *heterodyne beat signal* memiliki kelebihan dapat meningkatkan keakurasian dan kepresisian pengukuran dengan memanfaatkan dua buah laser yang menghasilkan sinyal berfrekuensi tinggi. Pengambilan data dalam pengujian ini melalui pemaduan dua sinyal laser yang bertujuan untuk memperoleh frekuensi pelayangan yang mampu tala oleh variasi arus injeksi dan temperatur operasional. Sinyal hasil pelayangan dideteksi menggunakan *RF Spectrum Analyzer*. Selanjutnya daya sinyal diamplifikasi dengan amplifier eksternal dan diuji kepresisiannya sebelum diaplikasikan dalam Sistem Komunikasi Serat Optik secara *auto-tune*. Hasil yang diperoleh adalah *tunability* laser sebesar 0,578-8,395 GHz pada rentang temperatur 32,87°C sampai 34,90°C dengan step pengukuran perbedaan temperatur sebesar 0,07°C dengan kepresisian mencapai 97,8554%. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa perubahan frekuensi laser terhadap temperatur sebesar 9,06 GHz/°C dan bila pengukuran langsung menggunakan OSA perubahannya sebesar 11,44 GHz/°C. Daya terbesar *beat signal* hasil amplifikasi menggunakan amplifier 4-8 GHz dengan

gain 25 dB adalah -38,9179 dBm, lebih kecil dari daya yang dibutuhkan untuk membangkitkan *prescaller* sebesar -15 dBm. Sinyal hasil amplifikasi mempunyai SNR sebesar 32 dB sehingga masih memungkinkan untuk diamplifikasi lagi.

Kata Kunci—*Beat, DFB, Heterodyne, Spectrum Analyzer, Tunability*

DESIGN OF DFB LASER TUNABILITY MEASUREMENT SYSTEM BY USING HETERODYNE BEAT SIGNAL TECHNIQUE

NAME : SITI SULIKHAH
NRP : 2411 100 074
DEPARTMENT : ENGINEERING PHYSICS
SUPERVISOR : Dr. Bambang Widiyatmoko, M.Eng
Prof. Dr. Ir. Sekartedjo, M.Sc

Abstract

Measurement of laser tunability is one way to determine the ability of a laser tuning. Laser tunability stating wavelength of laser that tuning capabilities are influenced by control variables. During this measurement of laser tunability by using Optical Spectrum Analyzer (OSA) which has the measurement performance is not good specially for mm-wave generation. This study has been carried out design of laser tunability measurement system by using heterodyne beat signal technique consist of Distributed Feedback Laser (DFB) laser Anritsu and Eudyna, fiber coupler, OSA, photodetector, and RF Spectrum Analyzer. DFB laser has the ability of tuning and good frequency stability. Measurements of laser tunability with heterodyne beat signal techniques can increase the accuracy and precision of measurement with utilizes two lasers that generate high-frequency signals. Collecting data in this experiment through the integration of two laser signals aimed to obtain beat- frequency capable of tuning by variation of injection current and operating temperature. The signal was detected using RF Spectrum Analyzer. Furthermore amplified signal power with external amplifier and precision test before applied in the Optical Fiber Communication System in auto-tune. The results obtained laser tunability are 0.578 to 8.395 GHz from 32,87°C till 34,90°C with step difference temperature of measurement each 0,07°C with precision reached 97.8554%. The measurements' result show that alteration frequency of laser toward temperature are 9,06 GHz/°C and 11,44 GHz/°C if by using direct measurement with OSA. The biggest beat signal' power amplification product is -38.9179 dBm using the 4-8 GHz amplifier with gain is 25 dB which is smaller than power is needed to

prescaler generation as big as -15 dBm. The amplified signal has SNR 32 dB and this signal can be amplify again.

Keyword— *Beat, DFB, Heterodyne, Spectrum Analyzer, Tunability*

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur senantiasa terpanjatkan kepada Allah SWT yang Maha Agung dan Maha Bijaksana. Atas berkat, petunjuk dan kasih sayang-Nya, penulis mampu menyelesaikan tugas akhir dengan judul :

PERANCANGAN SISTEM PENGUKURAN TUNABILITY LASER DFB DENGAN TEKNIK HETERODYNE BEAT SIGNAL

Pada kesempatan ini, penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam penyelesaian laporan tugas akhir ini, yaitu:

1. Jurusan Teknik Fisika FTI – ITS yang telah menjadi tempat penulis menimba ilmu selama masa kuliah hingga penulisan tugas akhir ini,
2. Pusat Penelitian Fisika – LIPI yang telah memberikan ijin dan fasilitas untuk melakukan penelitian dalam tugas akhir ini,
3. Yayasan VDMS dan Direktorat Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia yang telah memberikan beasiswa maupun pelatihan kepada penulis baik selama masa kuliah maupun saat pelaksanaan tugas akhir ini,
4. Bapak Dr. Bambang Widiyatmoko, M.Eng selaku pembimbing tugas akhir di pusat penelitian fisika LIPI yang telah memberikan bimbingan kepada penulis selama melakukan penelitian di pusat penelitian fisika LIPI,
5. Prof. Dr. Ir. Sekartedjo. M.Sc selaku pembimbing serta kepala Laboratorium dan kepala bidang minat Rekayasa Fotonika yang telah memberi banyak ilmu, pengetahuan, wawasan dan bimbingan moral,
6. Bapak Ir. Heru Setijono M.Sc, Ibu Ir. Apriani Kusumawardhani M.Sc, Bapak Agus Muhammad Hatta ST, M.Si, Ph.D, Bapak Dr.rer.nat Aulia MT Nasution M.Sc dan Bapak Detak Yan Pratama, ST, M.Sc selaku dosen bidang

minat rekayasa fotonika jurusan Teknik Fisika FTI – ITS yang telah memberikan berbagai saran selama pengerjaan tugas akhir ini,

7. Bapak Dr. Ir. Totok Soehartanto DEA selaku Ketua Jurusan Teknik Fisika FTI – ITS, karena telah memberikan dukungan secara administrasi dan moril selama pengerjaan tugas akhir,
8. Bapak Dr. Ir. Purwadi Agus Darwito, M.Sc selaku dosen wali penulis di Jurusan Teknik Fisika FTI – ITS yang telah memberikan dorongan maupun nasehat baik selama menempuh kuliah maupun pada saat pelaksanaan tugas akhir ini,
9. Segenap Bapak/Ibu Dosen pengajar di Jurusan Teknik Fisika FTI – ITS yang telah memberikan ilmunya kepada penulis selama menempuh kuliah di jurusan Teknik Fisika FTI – ITS,
10. Seluruh staf tata usaha jurusan Teknik Fisika FTI – ITS yang telah memberikan dukungan secara administrasi,
11. Bapak Nursidik, Bapak Dwi Hanto, Bapak Isnaeni, Bapak Iyon, Bapak Andi, Bapak Suryadi, Bapak Wildan dan seluruh karyawan/wati Pusat Penelitian Fisika, LIPI-Serpong yang telah memberikan bimbingan dan dukungan selama pengerjaan tugas akhir,
12. Semua keluarga di rumah yang telah memberikan banyak motivasi, doa, kasih sayang dan perhatian yang sangat berharga,
13. Angkatan 2011 yang saya banggakan atas motivasi, dukungan dan doanya kepada saya,
14. Keluarga besar asisten Laboratorium Rekayasa Fotonika,
15. Semua pihak yang turut membantu dan memperlancar pengerjaan tugas ini. Terima Kasih yang sebesar-besarnya semoga Allah SWT membalasnya dengan pahala yang berlebih. Amin.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini bukanlah suatu hasil yang sempurna, hanya harapan agar tugas ini menjadi referensi bagi rekan-rekan untuk menambah wawasan bagi pembaca dan dapat digunakan sebagai referensi pengerjaan tugas

akhir selanjutnya. Semoga yang sederhana ini dapat menjadi motivasi untuk berkembang lebih hebat lagi.

Surabaya, Januari 2015

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Lembar Pengesahan.....	v
Abstrak	ix
Abstract	xi
Kata Pengantar	xiii
Daftar Isi	xvii
Daftar Gambar	xix
Daftar Tabel	xxi
Daftar Simbol	xxiii

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	4
1.3. Batasan Masalah	5
1.4. Tujuan	5
1.5. Manfaat	5

BAB II TEORI PENUNJANG

2.1. <i>Tunability Laser</i>	7
2.2. Teknik <i>Heterodyne</i>	13
2.3. <i>Optical Spectrum Analyzer (OSA)</i>	15
2.4. <i>Beat Signal</i>	18
2.5. Presisi	20

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Skema Sistem Pengukuran <i>Tunability Laser</i> DFB	24
3.2. Persiapan Hardware Sistem Pengukuran <i>Tunability Laser</i> DFB	25
3.3. Karakterisasi Laser DFB	27
3.4. Perancangan Sistem Pengukuran <i>Tunability Laser</i> DFB	31
3.5. Amplifikasi Daya <i>Beat Signal</i>	33
3.6. Analisa dan Pembahasan	35

BAB IV ANALISA DATA dan PEMBAHASAN

4.1. Hasil Perancangan Sistem Pengukuran <i>Tunability Laser</i> DFB	37
4.2. Hasil Kalibrasi <i>Display</i> Tegangan Laser DFB	37

4.3. Hasil Karakterisasi Arus dan Temperatur Laser DFB	39
4.4. Hasil Pengukuran Tunability Laser DFB	48
4.5. Hasil Amplifikasi Daya <i>Beat Signal</i>	49

BAB V KESIMPULAN dan SARAN

5.1. Kesimpulan.....	53
5.2. Saran	53

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BIODATA PENULIS

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Nilai Parameter Pengukuran Daya dan Panjang Gelombang Laser DFB.....	29
Tabel 4.1	Konversi Temperatur Laser DFB	38
Tabel 4.2	Nilai <i>Tunability</i> Laser DFB Eudyna.....	41
Tabel 4.3	Data SNR dan <i>Noise</i> Laser DFB Eudyna.....	42
Tabel 4.4	Nilai <i>Tunability</i> Laser DFB Anritsu.....	44
Tabel 4.5	Data SNR dan <i>Noise</i> Laser DFB Anritsu	45

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Prinsip <i>Extended Cavity</i>	7
Gambar 2.2	Mekanisme Pembalikan Populasi Laser Diode ..	9
Gambar 2.3	Geometri DFB Laser	9
Gambar 2.4	<i>Lasing</i> pada Laser Diode.....	10
Gambar 2.5	Grafik Hubungan Temperatur dan Tahanan Resistor.....	12
Gambar 2.6	Laser Diode <i>Controller</i>	13
Gambar 2.7	Skema Pemanduan Sinyal Optis	14
Gambar 2.8	Tampilan Spektrum pada OSA	17
Gambar 2.9	Diagram Blok OSA	18
Gambar 2.10	Skema Deteksi <i>Heterodyne</i>	18
Gambar 2.11	<i>Prescaller</i>	19
Gambar 2.12	Skema <i>Display RF Spectrum Analyzer</i>	20
Gambar 3.1	Diagram Alir Metodologi Tugas Akhir.....	24
Gambar 3.2	Skema Sistem Pengukuran <i>Tunability</i> Laser DFB	25
Gambar 3.3	Laser DFB	25
Gambar 3.4	OEM Laser Diode <i>Controller</i> ITC 102	26
Gambar 3.5	<i>Spectrum Analyzer</i>	27
Gambar 3.6	<i>Laser Current Controller</i>	28
Gambar 3.7	<i>Temperature Controller</i>	30
Gambar 3.8	Skema Karakterisasi Laser DFB	30
Gambar 3.9	Skema Amplifikasi Daya <i>Beat Signal</i>	34
Gambar 4.1	Set-up Sistem Pengukuran <i>Tunability</i> Laser DFB	37
Gambar 4.2	Grafik Hubungan Temperatur dan Panjang Gelombang Laser DFB Eudyna	40
Gambar 4.3	Grafik Hubungan Temperatur dan Frekuensi Laser DFB Eudyna	40
Gambar 4.4	Grafik Hubungan Temperatur dan daya Optis Laser DFB Eudyna	41
Gambar 4.5	Grafik Hubungan Arus Injeksi dan Panjang Gelombang Laser DFB Eudyna	42

Gambar 4.6	Spektrum Laser DFB Eudyna.....	43
Gambar 4.7	Grafik Hubungan Temperatur dan Panjang Gelombang Laser DFB Anritsu.....	43
Gambar 4.8	Grafik Hubungan Temperatur dan Frekuensi Laser DFB Anritsu	44
Gambar 4.9	Grafik Hubungan Temperatur dan daya Optis Laser DFB Anritsu.....	45
Gambar 4.10	Spektrum Laser DFB Anritsu.....	46
Gambar 4.11	Grafik Hubungan Arus Injeksi dan Panjang Laser DFB Anritsu.....	46
Gambar 4.12	Grafik Hubungan Arus Injeksi dan Daya Optis Laser DFB	47
Gambar 4.13	Grafik Hubungan Temperatur Operasional dan Frekuensi <i>Beat Signal</i>	48
Gambar 4.14	Spektrum Laser DFB Anritsu dan Laser DFB Eudyna Saat Pelayangan	49
Gambar 4.15	Grafik Hubungan Temperatur dan Frekuensi <i>Beat Signal</i> dengan Amplifier 2-4 GHz.....	50
Gambar 4.16	Grafik Hubungan Temperatur dan Frekuensi <i>Beat Signal</i> dengan Amplifier 4-8 GHz.....	50
Gambar 4.17	Grafik Hubungan Temperatur dan Daya Optis Masukan Fotodetektor.....	51

DAFTAR SIMBOL

Simbol	Keterangan	Satuan
λ	Panjang Gelombang	nm
h	Tetapan Planck	J.s
c	Kecepatan Rambat Cahaya	m/s
E_g	Energi <i>Gap</i>	eV
Λ	Periode <i>Bragg Grating</i>	
λ_{bragg}	Panjang Gelombang Bragg	nm
η_{eff}	Indeks Bias Efektif	
P_{out}	Daya <i>Output</i>	mW
η_{ext}	Penurunan Efisiensi Kuantum	
I	Arus Injeksi	mA
I_{th}	Arus Ambang	mA
T	Temperatur	°C
V_T	Tegangan Keluaran Resistor	V
V_s	Tegangan Sumber	V
R_T	Tahanan pada Temperatur T	Ω
R_s	Tahanan Acuan	Ω
T_0	Temperatur Ruang	°C
B	Koefisien Termistor	
E	Amplitude Gelombang	
ϕ	Fasa Gelombang	derajat
ω	Frekuensi Gelombang	Hz
R	Resposivitas	
X_n	Nilai Pengukuran ke-n	
$\overline{X_n}$	Nilai Rata-rata n Pengukuran	

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem Komunikasi Serat Optik berkembang secara pesat. Salah satu masalah pokok teknologi komunikasi adalah diperlukannya sumber sinyal optik yang memiliki daya cukup tinggi, monokromatis, koheren, dan stabil. Sifat-sifat dari sumber sinyal optik dapat dipenuhi oleh laser dengan panjang gelombang tertentu sesuai dengan kebutuhan dalam komunikasi serat optik. Jenis laser yang terus dikembangkan adalah *tunable laser* yang stabil dan efisien, yakni laser yang dapat diubah-ubah panjang gelombangnya. Cara mendapatkan panjang gelombang yang tunabel diantaranya dengan menambahkan kisi difraksi pada laser yang menyebabkan pergeseran sudut resonator sehingga terjadi perubahan panjang gelombang dalam rentang tertentu (Daryatno,1997). Penambahan kisi difraksi dapat diaplikasikan dengan mekanisme *electrical feedback* sebagai proses *pumping* dalam laser (Winnall, 1999).

Tunable laser juga dapat diperoleh dengan menambahkan rongga di luar laser yang disebut *external cavity* atau *extended cavity* (Leclin,2005). *External Cavity* dapat menjangkau perubahan panjang laser dari 1300 nm sampai 1540 nm (Yi-Shin, 2001). Metode lain untuk menghasilkan panjang gelombang yang tunabel adalah *hydrostatic pressure* pada laser diode, yakni memberikan tekanan pada struktur semikonduktor laser yang menyebabkan energi *gap* pada laser bervariasi, namun dapat menyebabkan kerusakan pada divais (Vicet, 2003). Energi *gap* merupakan selisih energi antara pita valensi dan pita konduksi (Shiraz, 2003).

Tunable laser digunakan dalam sistem *Dense Wavelength Division Multiplexed* (DWDM) dan paket *switch* akses jaringan, yaitu metode komunikasi digital yang dikelompokkan berdasarkan paket-paket data yang ditransmisikan pada jaringan (Anandarajah, 2010). DWDM merupakan teknologi telekomunikasi yang memanfaatkan cahaya dengan panjang

gelombang yang berbeda-beda untuk ditransmisikan melalui kanal-kanal informasi dalam serat optik moda tunggal. Pemanfaatan lain dari *tunable laser* adalah dalam bidang spektroskopi, yaitu untuk mendeteksi penyerapan gas (Mei, 2014) dan campuran gas yang kompleks (Frish, 2008). Spektroskopi merupakan ilmu yang mempelajari interaksi gelombang elektromagnetik dengan benda (Maznev, 1998). Metode spektroskopi berdasarkan pada penyerapan gelombang yang selektif pada panjang gelombang tertentu, di mana pada panjang gelombang yang berbeda-beda menghasilkan penyerapan gelombang oleh gas yang bervariasi (Shintaro, 2014).

Dalam sistem pembangkitan gelombang mikro, *tunable laser* diaplikasikan sebagai sumber sinyal optik yang stabil terhadap waktu dan temperatur operasional. Frekuensi gelombang mikro yang digunakan dalam aplikasi telekomunikasi sebesar 10 GHz sedangkan aplikasi gelombang mikro dalam RADAR memerlukan kestabilan terhadap waktu karena laser menyala sepanjang waktu pengukuran beberapa bulan bahkan hingga satu tahun (Widiyatmoko, 2012). Laser yang digunakan adalah laser diode diantaranya jenis *Distributed Feedback Laser* (DFB). Kelebihan laser DFB adalah memiliki kemampuan tala dan kestabilan frekuensi terbangkit yang baik (David, 1995). Sistem DFB memiliki toleransi panjang gelombang sekitar 0,1 nm dengan tipe *tunability* laser yakni, *narrowband tuning* yang presisi. Kemampuan tala laser DFB dipengaruhi oleh arus injeksi dan temperatur operasional yang menyebabkan indeks bias pada efektif yang terdapat pada area aktif laser berubah (Nobuhiro, 2000). Dengan berubahnya nilai indeks bias struktur semikonduktor maka panjang gelombang yang dihasilkan laser juga berubah (Klotzkin, 2014). Perbedaan komposisi material yang menyusun semikonduktor juga mempengaruhi karakteristik panjang gelombang laser terhadap perubahan temperatur operasional (Suematsu, 2008). Keperluan *tunability* laser untuk komunikasi serat optik adalah beberapa nm atau beberapa GHz sesuai dengan pita pengoperasiannya (Yu Peng, 2011).

Pembangkitan laser yang mampu tala merupakan terobosan baru guna memperoleh frekuensi yang menempati *band* atau pita yang belum terlalu padat dengan alokasi untuk setiap pemanfaatan pita frekuensi yang berbeda yakni, berkisar 1-106 GHz dengan pemanfaatan untuk *band* komunikasi sekitar 1-10 GHz. Terjadinya perubahan panjang gelombang yang berbanding terbalik dengan besarnya perubahan frekuensi keluaran *tunable laser* dapat mempengaruhi informasi yang terkirim dan menentukan rentang *band* daerah pengoperasian komunikasi (Jean-Daniel, 2013).

Pengukuran *tunability* laser diperlukan untuk mengetahui kemampuan tala panjang gelombang dari sebuah laser dalam berbagai aplikasi, di mana selama ini pengukuran dilakukan dengan menggunakan *Optical Spectrum Analyzer* (OSA) yang memiliki tingkat kepresisian tertentu (Thomas, 2013). OSA dapat mengukur kerapatan spektral dari sinyal optik pada panjang gelombang yang berbeda (Tresna, 2011). Namun, performansi pengukuran *tunability* laser menggunakan OSA tidak cukup baik karena resolusi pengukuran OSA sebesar 0,1 nm atau setara dengan frekuensi laser sebesar 40 GHz menyebabkan hasil pengukuran panjang gelombang dan frekuensi yang ditala memiliki kepresisian yang rendah.

Teknik lain yang dapat digunakan dalam pengukuran *tunability* laser adalah teknik *heterodyne*. Teknik ini mampu meningkatkan keakurasian dan kepresisian frekuensi *tunable laser* dengan resolusi pengukuran sebesar 0,0001 nm setara pembacaan frekuensi laser dalam orde MHz atau 1000 kali lebih presisi dibandingkan dengan pengukuran menggunakan OSA. Teknik *heterodyne* memanfaatkan 2 buah laser yang menghasilkan sinyal berfrekuensi tinggi (Greiner, 1998). Pada pengembangan tahap awal, teknik *heterodyne* menggunakan *counter* untuk menghitung frekuensi dua laser yang dipadukan (Xiaohui-Li, 2007). Pemaduan dua sinyal laser bertujuan untuk memperoleh frekuensi pelayangan yang mampu tala dan *beat signal* yang dapat diamati dengan *RF (Radio Frequency) Spectrum Analyzer*, di mana frekuensi yang mampu dideteksi

adalah frekuensi radio dari 2-20 GHz (Olbright, 1991). Teknik *heterodyne beat signal* mudah diimplementasikan karena tidak memerlukan *Phase Locked Loop* (PLL) dan memiliki sensitivitas penerimaan mendekati ideal sehingga selektivitas frekuensi yang dihasilkan tinggi, yaitu hanya satu nilai frekuensi yang ditampilkan (Jost, 2002). PLL merupakan suatu sistem kendali umpan balik yang dapat menyesuaikan fasa dari sinyal yang dibangkitkan dari sisi masukan dan keluarannya (Kang Hyuk Kwon, 2008).

Karakterisasi kemampuan tala dari laser DFB dapat menggunakan variasi arus dan temperatur operasional yang mempengaruhi mekanisme *feedback* pada laser (Khairudin, 2011). Daya hasil paduan spektrum laser yang mampu tala memerlukan pengujian kepresisian sebelum diaplikasikan dalam Sistem Komunikasi Serat Optik secara *auto-tune* menggunakan *prescaller* yakni, skala pembanding yang berguna untuk mengskalakan hasil pengukuran yang lebih kecil agar sesuai dengan alat pengukuran (Sianipar, 2011). Selanjutnya sistem *auto-tune* dengan teknik *heterodyne beat signal* diterapkan dengan *virtual instrument*, yakni menggunakan perangkat komputer untuk mekanisme *tuning* panjang gelombang laser sesuai dengan nilai yang dipilih secara otomatis (Kazuya, 2011). Kepresisian pengukuran daya *beat signal* sangat dipengaruhi oleh *signal to noise ratio* (SNR) pada proses pelayangan yang menunjukkan perbandingan antara daya *beat signal* dan *noise* pada *RF Spectrum Analyzer*. Pada tugas akhir ini telah dilakukan pengembangan terhadap sistem pengukuran *tunability* laser yang presisi dengan teknik *heterodyne beat signal* menggunakan laser DFB dengan variasi arus injeksi dan temperatur operasional serta diperoleh performansi pengukuran *tunability* laser DFB yang lebih baik dibandingkan dengan pengukuran *tunability* laser DFB menggunakan OSA.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang harus diselesaikan dalam pelaksanaan tugas akhir ini adalah:

- Bagaimana merancang sistem pengukuran *tunability* laser DFB dengan teknik *heterodyne beat signal*?
- Bagaimana hasil pengukuran daya *beat signal* setelah diamplifikasi dibandingkan dengan daya yang dibutuhkan untuk membangkitkan *prescanner* ?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan-batasan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Tipe laser yang digunakan dalam penelitian adalah laser diode merk Eudyna dan laser diode merk Anritsu jenis DFB yang masing-masing dikendalikan dengan OEM laser diode *controller* IT C 102.
- Variasi temperatur berkisar pada 15-44 °C dan rentang arus injeksi operasional berkisar 0-36 mA.
- Karakterisasi paduan spektrum laser menggunakan *RF Spectrum Analyzer* tipe MSA358 dengan rentang frekuensi berkisar 50 KHz – 8,5 GHz.
- Pengukuran *tunability* laser DFB menggunakan OSA AQ 6370C.

1.4 Tujuan

Tujuan tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

- Dapat diperoleh rancangan sistem pengukuran *tunability* laser DFB dengan teknik *heterodyne beat signal*.
- Agar diperoleh perbandingan daya *beat signal* setelah proses amplifikasi dengan daya yang dibutuhkan untuk membangkitkan *prescanner*.

1.5 Manfaat

Manfaat dari tugas akhir ini adalah untuk mendapatkan rancangan sistem pengukuran *tunability* laser DFB yang presisi dan selanjutnya dapat diaplikasikan dalam Sistem Komunikasi Serat Optik secara *auto-tune*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

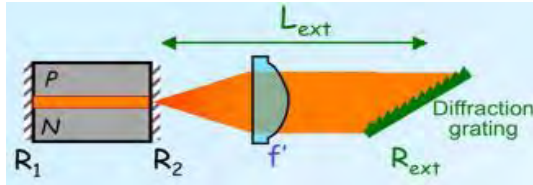
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai beberapa teori penunjang dalam perancangan sistem pengukuran *tunability laser* secara presisi dengan teknik *heterodyne beat signal*.

2.1 Tunability Laser

Tunability laser merupakan kemampuan tala panjang gelombang dari sebuah laser yang dipengaruhi oleh satu atau lebih variabel kontrol. Perubahan panjang gelombang dapat diperoleh dengan mengubah panjang rongga laser (*extended cavity*) diantaranya laser diode melalui mekanisme *pumping*, sehingga terjadi perubahan panjang rongga yang menyebabkan perubahan panjang gelombang keluaran laser. Teknik *extended cavity* menambahkan *grating* sebagai penyeleksi panjang gelombang. Berikut mekanisme teknik *extended cavity* pada *tunable laser*.



Gambar 2.1 Prinsip *Extended Cavity* (Leclin,2005)

Panjang dari *extended cavity* sebuah laser didefinisikan sebagai berikut:

$$L_{\text{extended cavity}} = L_{\text{laser}} + L_{\text{external cavity}} \quad (2.1)$$

dengan $L_{\text{extended cavity}}$ merupakan panjang dari *extended cavity* sebuah laser (cm), L_{laser} adalah panjang resonator laser (cm), dan $L_{\text{external cavity}}$ menyatakan panjang rongga di luar laser (cm).

Grating menyeleksi panjang gelombang laser yang mengalami proses *feedback* hingga medium laser dapat menghasilkan emisi yang jauh lebih besar dari panjang gelombang *gain*. *Gain*

merupakan koefisien material yang menyusun struktur laser. Berikut terdapat beberapa tipe *tunability laser*, yakni:

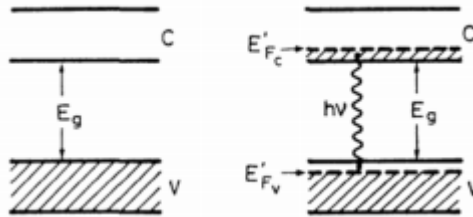
- *Single line tuning* : *tuning* dapat dicapai dengan menempatkan elemen optik untuk memperoleh panjang gelombang yang selektif atau rongga tertentu, misalnya laser Nd:YAG.
- *Multi-line tuning* : menambahkan prisma dalam rongga optik yang menyebabkan *tuning* panjang gelombang keluaran laser.
- *Narrowband tuning* : modifikasi dilakukan pada panjang rongga laser untuk mengatur rentang panjang gelombang yang signifikan, misalnya DFB laser semikonduktor.
- *Widely tunable laser* : dilakukan pemasangan komponen optik eksternal yang dapat melakukan *tuning* pada daerah IR.

Distributed Feedback (DFB) Laser

Laser diode tersusun atas bahan semikonduktor yang memiliki sifat diantara konduktor dan isolator dengan pita energi valensi dan pita energi konduksi, yakni tingkat energi dalam pemancaran cahaya. Elektron pada pita valensi akan tereksitasi ke pita konduksi bila memperoleh energi, di mana terjadi peristiwa rekombinasi saat elektron pada pita konduksi turun kembali ke pita valensi mengisi *hole* (tempat kosong bermuatan positif) dan dipancarkan cahaya yang bersesuaian dengan energi *gap* antara pita valensi dan pita konduksi. Panjang gelombang laser yang dipancarkan memenuhi persamaan sebagai berikut.

$$\lambda = \frac{hc}{E_g} \text{ nm} \quad (2.2)$$

dengan h adalah tetapan Planck ($6,6261 \times 10^{-34}$ J.s), c adalah kecepatan cahaya (3×10^8 m/s), dan E_g merupakan energi *gap* (eV).

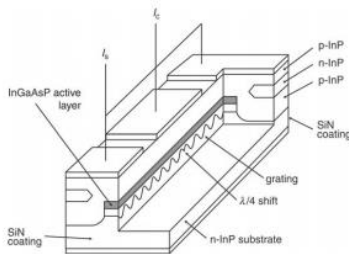


Gambar 2.2 Mekanisme Pembalikan Populasi pada Laser Diode (Shiraz dan Ghafouri. H,2003)

DFB merupakan jenis laser dioda yang memiliki struktur periodik berupa *bragg grating* pada region aktif divais. *Grating* berfungsi untuk menyeleksi panjang gelombang laser yakni, hanya memantulkan satu panjang gelombang dengan *band* sempit dan memproduksi *single longitudinal lasing mode*. Panjang gelombang laser direfleksikan ketika memenuhi kondisi bragg dengan Λ (periode *bragg grating*) dapat diperoleh sesuai dengan persamaan Bragg, yaitu:

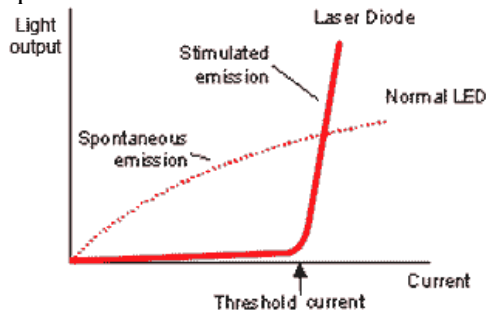
$$\Lambda = \frac{\lambda_{bragg}}{2\eta_{eff}} \quad (2.3)$$

dengan λ_{bragg} adalah panjang gelombang Bragg dan η_{eff} merupakan indeks bias efektif. Perubahan temperatur dapat mengubah energi *gap* laser diode dan menyebabkan *pitch grating* (pola) berubah. Pergeseran *pitch grating* berpengaruh pada indeks bias struktur semikonduktor pada laser dan seleksi panjang gelombang yang mampu tala.



Gambar 2.3 Geometri Laser DFB (Shiraz dan Ghafouri. H,2003)

Rentang kemampuan tala laser diode bergantung pada pemisahan pita valensi dan energi *gap* dari semikonduktor. Pada sambungan p (pembawa muatan positif) – n (muatan negatif) akan melakukan generasi dan rekombinasi bila ada tegangan dari luar dan proses *lasing* terjadi di dalam sambungan semikonduktor. *Lasing* merupakan keadaan di mana radiasi yang dipancarkan bukan sebagai akibat emisi spontan, tetapi akibat emisi yang terstimulasi. Arus yang menyebabkan transisi dari keadaan emisi spontan ke emisi stimulasi disebut arus ambang.



Gambar 2.4 *Lasing* pada Laser Diode (Klotzkin, 2014)

Pada arus yang rendah radiasi yang dipancarkan oleh laser diode adalah hasil emisi spontan, sama seperti pada LED. Spektrum laser diode lebih sempit dibandingkan dengan spektrum LED. Spektrum laser yang sempit dapat berpengaruh pada nilai pelebaran pulsa atau dispersi yang kecil.

Laser DFB dapat di-*tuning* dengan perubahan temperatur dan arus injeksi, di mana panjang gelombang bergeser beberapa puluh nm tiap °C atau mA bergantung pada material laser. Berikut beberapa karakteristik dari laser DFB.

- Memiliki *linewidth* yang sempit berkisar 0,1- 0,2 nm
- Memerlukan perubahan temperatur yang kecil untuk menggeser panjang gelombang laser (0,1 nm/°C)
- Memiliki performansi 3-5 kali lebih baik daripada laser diode konvensional

Mekanisme pembalikan populasi pada laser diode ditentukan oleh besarnya arus ambang (*threshold*) yang

mempengaruhi daya optis sebagai keluaran dari laser diode, yakni:

$$P_{out} = \eta_{ext} (I - I_{th}) \quad (2.4)$$

dengan $\eta_{ext} = \frac{dP}{dI}$ merupakan penurunan efisiensi kuantum laser

diode, I adalah arus injeksi laser (mA), dan I_{th} merupakan arus ambang terjadinya *lasing* (mA). Temperatur operasional yang divariasikan dapat berpengaruh pada besarnya arus ambang proses *lasing*, yakni memenuhi persamaan:

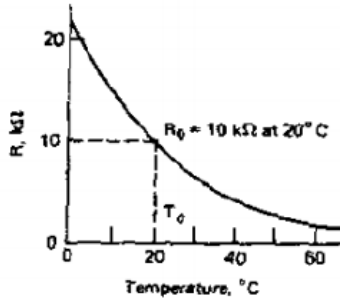
$$I_{th}(\lambda, T) = I_0(\lambda) \exp \left[\frac{\Delta T}{T_0} \right] \quad (2.5)$$

dengan I_0 adalah arus ambang awal dan T_0 merupakan temperatur awal berkisar 40-75 K untuk material InGaAsP.

Laser Diode Controller

Laser diode *controller* merupakan perangkat yang digunakan untuk mengendalikan arus injeksi dan temperatur operasional sesuai dengan batas spesifikasi divais yakni, nilai *limit* dari arus injeksi dan temperatur yang mampu dioperasikan pada laser. Adanya mekanisme kontrol menyebabkan sinyal optis yang dihasilkan stabil. Secara umum, laser diode terdiri dari *laser driver*, *power supply*, *display*, dan peltier elemen yang sensitiv terhadap perubahan temperatur. *Laser driver* terdiri atas termistor sebagai sensor termal, *temperature controller*, kontrol arus, dan *thermo-electric controller* (TEC).

Termistor merupakan sensor termal yang memiliki koefisien tahanan temperatur tinggi, yakni pada temperatur ruang dapat berkurang 6% untuk setiap kenaikan temperatur sebesar 1°C. Kepekaan yang tinggi terhadap perubahan temperatur menyebabkan termistor sesuai untuk pengukuran, pengontrolan, dan konversi temperatur secara presisi.



Gambar 2.5 Grafik Hubungan Temperatur dan Tahanan Resistor (Khairudin, 2011)

Perubahan temperatur dapat dihasilkan dari *trigger* tegangan dari luar, di mana untuk mengatur temperatur diperlukan konversi tahanan termistor menjadi tegangan yakni:

$$VT = \frac{Vs \cdot RT}{Rs + RT} \quad (2.6)$$

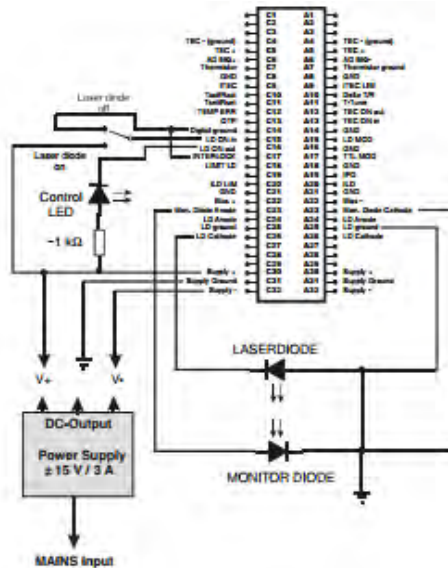
dengan VT = tegangan keluaran resistor (V); Vs = tegangan sumber (V); RT = tahanan saat temperatur T (Ohm), Rs = tahanan pada temperatur acuan (Ohm).

Hubungan antara tahanan dan temperatur keluaran termistor dapat dinyatakan melalui persamaan berikut.

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{T0} + \frac{1}{B} \ln \frac{RT}{Rs} \text{ K}^{-1} \quad (2.7)$$

dengan T0 = temperatur ruang (25°C=298,15 K) dan B = koefisien termistor (3950).

Laser driver dibangkitkan oleh tegangan sumber dari *power supply*, dengan *laser diode current source* dan TEC yang diinjeksikan pada area aktif laser. TEC berfungsi untuk mengontrol peltier agar dapat menaikkan dan menurunkan temperatur sesuai dengan pengaturan yang dioperasikan. Sedangkan *temperature controller* berfungsi mengendalikan temperatur laser dengan sensor termal berupa termistor.



Gambar 2.6 Laser Diode *Controller* (Thorlabs Instrumentation, 2008)

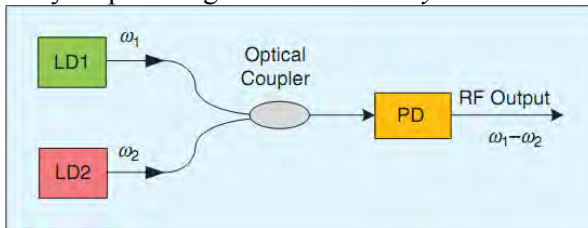
2.2 Teknik *Heterodyne*

Pengembangan sistem komunikasi optik meliputi sumber sinyal optik, sistem transmisi dan komponen pasif, serta sistem detektor optik. Pada generasi kelima, pengembangan sistem mengacu pada sistem koheren dengan teknik *heterodyne*. Sistem koheren pada komunikasi serat optik berhubungan dengan teknik penggabungan dua gelombang optik secara non linier. Pada komunikasi radio, sistem koheren berkaitan dengan teknik mendeteksi sinyal yang dikenali oleh *receiver*. Cahaya diperlakukan sebagai pembawa medium berupa amplitudo, frekuensi, dan fase, di mana terdapat dua kriteria dari sistem komunikasi optik koheren yakni:

- Sensistivitas penerima mendekati ideal (20 dB pada deteksi langsung, yakni intensitas cahaya laser dimodulasi oleh tegangan listrik sinyal informasi)
- Selektivitas frekuensi tinggi

Teknik *heterodyne* merupakan salah satu teknik yang digunakan untuk membangkitkan gelombang mikro dengan memanfaatkan 2 buah laser yang menghasilkan sinyal frekuensi tinggi. Biasanya digunakan laser diode jenis *Distributed feedback* (DFB) yang memadukan dua sinyal frekuensi tinggi untuk memperoleh frekuensi pelayangan yang mampu tala. Kemampuan tala frekuensinya berada pada rentang GHz sampai THz. Frekuensi keluaran dari laser DFB mempunyai kemampuan tala baik secara temperatur maupun dengan merubah sinyal refleksi dari *grating*. Namun penggunaan 2 laser DFB dalam teknik *heterodyne* mempunyai beberapa kekurangan diantaranya, kestabilan frekuensi yang jelek, dan memiliki frekuensi *offset* sebesar 100 MHz. Pada aplikasi pembangkitan gelombang mikro, teknik *heterodyne* digunakan untuk memperoleh sinyal pencampuran dari 2 sinyal gelombang elektromagnetik pada frekuensi optik. Superposisi diantara dua gelombang tersebut menyebabkan interferensi yang menghasilkan sinyal pelayangan.

Sinyal yang dihasilkan merupakan superposisi 2 gelombang optik yang berpadu melalui *fiber coupler* lalu diproses dalam *photodetector* dan dihasilkan sinyal elektrik. *Fiber coupler* merupakan divais yang berfungsi untuk memadukan dua sinyal optis dengan faktor pembagi intensitas tertentu. Berikut skema pemaduan sinyal optik dengan teknik *heterodyne*.



Gambar 2.7 Skema Pemaduan Sinyal Optis (Leclin, 2005)

Dua sinyal optis yang memiliki polarisasi sama dapat dinyatakan dengan persamaan berikut.

$$E1(t) = \sqrt{P1 e^{j(2\pi\nu_1 + \phi_1)}} \cdot \frac{1}{\epsilon_0 c S} \quad (2.8)$$

$$E_2(t) = \sqrt{P_2 e^{j(2\pi\nu_2 + \phi_2)}} \cdot \frac{1}{\epsilon_0 c S} \quad (2.9)$$

dengan ϕ_1 dan ϕ_2 adalah fase gelombang, maka sinyal hasil teknik *heterodyne* mempunyai amplitudo sebesar $\sqrt{P_1 P_2}$, frekuensi sebesar $(\omega_1 - \omega_2)$ dan beda fasa $(\phi_1 - \phi_2)$.

Fotodetektor sebagai deteksi langsung akan merespon perubahan intensitas dari sinyal optik tanpa terjadi konversi frekuensi. Besarnya arus fotodetektor dapat ditunjukkan dengan persamaan berikut.

$$I(t) = R|E(t)|^2 = R|E_1(t) + E_2(t)|^2 \quad (2.10)$$

$$I(t) = RP_1 + RP_2 + 2R\sqrt{P_1 P_2} \cos[(\omega_1 - \omega_2)t + (\phi_1 - \phi_2)] \quad (2.11)$$

dengan R adalah responsivitas dari fotodetektor yakni, kemampuan fotodetektor merespon daya yang masuk untuk menghasilkan arus keluaran fotodetektor. Dengan mempertimbangkan keterbatasan *bandwidth* dari fotodetektor, arus yang dihasilkan oleh fotodetektor akan sebesar:

$$I_{RF} = 2R\sqrt{P_1 P_2} \cos[(\omega_1 - \omega_2)t + (\phi_1 - \phi_2)] \quad (2.12)$$

Penjumlahan frekuensi dari 2 laser tidak mampu dideteksi oleh fotodetektor karena frekuensi yang dihasilkan dalam orde THz sehingga frekuensi yang mampu dideteksi merupakan selisih dari frekuensi laser dalam orde GHz.

Berbeda dengan teknik *homodyne*, teknik *heterodyne* tidak memerlukan *phase locked loop* sehingga mudah diimplementasikan dibandingkan teknik *homodyne* yang memiliki rangkaian yang lebih rumit. Namun, sensitivitas teknik *heterodyne* turun hingga 3 dB atau setengah dari deteksi *homodyne*.

2.3. Optical Spectrum Analyzer (OSA)

Pengukuran *tunability* laser dapat dilakukan dengan menggunakan OSA dengan kepresisian tertentu. OSA memanfaatkan sifat refleksi dan refraksi dari gelombang untuk memisahkan panjang gelombang cahaya. Pada panjang

gelombang yang berbeda, kerapatan spektral dapat diukur dengan *electro-optical* detektor yang mendeteksi intensitas atau magnitudo cahaya. Berdasarkan rentang frekuensi instrumen, OSA dapat mengukur panjang gelombang dalam rentang yang lebar dengan amplitudo yang stabil, kalibrasi yang akurat, dan akurasi pengukuran yang tinggi. Berikut fungsi *tools* dan cara pengoperasian OSA.

- Memasang kabel serat optik *singlemode*, di mana pada OSA Yokogawa sekaligus digunakan untuk kalibrasi.
- Menghidupkan OSA dengan menekan tombol ON/OFF. OSA Yokogawa memerlukan *start up* selama 1 jam sebelum digunakan.
- Menekan tombol auto untuk mendeteksi panjang gelombang sinar laser yang melewati serat optik.
- Mengatur panel tombol lainnya untuk keperluan pengamatan diantaranya:
 - *Center wavelength*, untuk mengetahui titik tengah panjang gelombang yang sudah dideteksi.
 - *Span*, untuk mengatur rentang pengamatan panjang gelombang pada sumbu aksis (satuan nm).
 - *Reference level*, untuk mengatur nilai acuan pada sumbu ordinat (satuan dBm atau desibel miliwatt).
 - *Level scale*, untuk mengatur skala dBm tiap satu kotak (div).
 - *Resolution*, untuk mengatur skala ketelitian dalam pengamatan.
 - *Average time*, untuk mengatur nilai rata-rata data dalam selang waktu tertentu.
 - *Peak level*, untuk menentukan jangkauan tertinggi nilai dBm.
 - *Peak wavelength*, untuk menentukan puncak panjang gelombang.
 - Tombol putar, untuk mengetahui nilai panjang gelombang pada suatu titik yang berada di sepanjang grafik.
- Jika pengamatan telah selesai, grafik bisa di simpan di *floppy disk* atau media penyimpanan lainnya serta dapat diprint.

- Menekan tombol STOP
- Menekan tombol ON/OFF untuk mematikan OSA



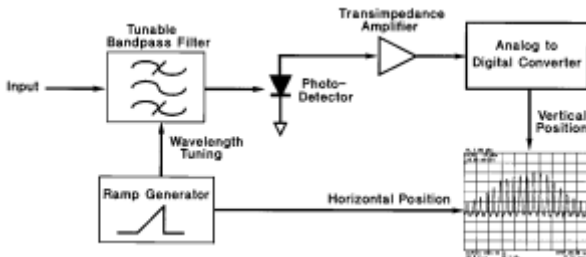
Gambar 2.8 Tampilan Spektrum pada OSA (Thomas,2013)

Terdapat 3 teknik pengukuran sinyal dalam domain frekuensi pada OSA yaitu:

- Teknik *real time* : menggunakan *bandpass filter* (filter yang meneruskan sinyal pada jangkauan frekuensi tertentu) yang disusun sejajar dan terpasang langsung pada masukan terminal sesuai dengan jangkauan frekuensi operasional. Resolusi sinyal dibatasi oleh *bandwidth* tiap filter dan jangkauan frekuensi yang dicapai berupa frekuensi audio saja.
- *Fast Fourier Transform* : teknik yang memproses sinyal secara digital dalam periode waktu tertentu untuk menghasilkan informasi-informasi frekuensi, amplituda, dan fase dengan jangkauan frekuensi mencapai 100 KHz.
- Teknik *swept tuned* : menggunakan *tuned filter* atau *heterodyne receiver* dalam pemeriksaan sinyal namun performansi pengukurannya tidak cukup baik.

OSA dapat menyelidiki distribusi energi sepanjang spektrum frekuensi dari sinyal yang diketahui dengan selektivitas panjang gelombang tinggi yakni, pada pengukuran *tunability* laser yang mempunyai rentang panjang gelombang tertentu, OSA mampu membedakan nilai panjang gelombang spesifik pada variabel kontrol yang diberikan pada laser. Secara umum, OSA dapat menyeleksi panjang gelombang berdasarkan prinsip interferometer dan penggunaan *diffraction grating* sehingga hanya ada satu panjang gelombang yang ditampilkan. Sedangkan nilai frekuensi laser diperoleh dari konversi panjang gelombang, dengan tampilan posisi horisontal pada OSA berupa nilai

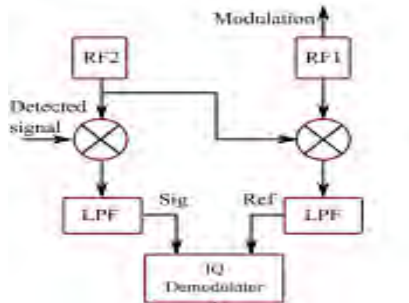
frekuensi atau panjang gelombang dan posisi vertikal merupakan magnitude atau intensitas laser.



Gambar 2.9 Diagram Blok OSA (Thomas, 2013)

2.4. Beat Signal

Pemaduan dua sinyal optis dengan teknik *heterodyne* menghasilkan frekuensi pelayangan dengan sinyal yang dideteksi berupa *beat signal*. Pendeteksian *beat signal* dapat mereduksi *noise* dari proses *mixing* menggunakan *coupler* ukuran tertentu dengan *low pass filter*, yakni filter yang meneruskan sinyal berfrekuensi rendah dan meredam sinyal berfrekuensi tinggi. Pada aplikasi pembangkitan gelombang mikro menggunakan laser DFB, *bit error rate* (BER) dapat dikurangi dengan mengatur frekuensi masing-masing DFB, di mana interferensi *optical beat* terjadi ketika frekuensi *carrier* sebanding dengan perbedaan frekuensi pada dua DFB laser. Perbedaan fase pada sinyal dapat diukur menggunakan *IQ demodulator*. BER merupakan presentase dari total kesalahan bit berbanding dengan total bit yang diterima. Berikut skema pengurangan *noise* pada deteksi *heterodyne*.



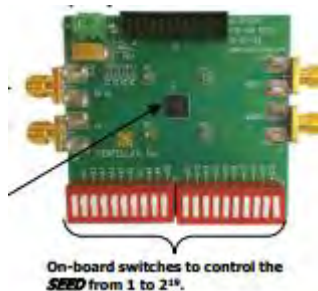
Gambar 2.10 Skema Deteksi *Heterodyne* (Greiner,1998)

Dalam sistem *auto-tune* diperlukan *prescaler* untuk mengskalakan *beat signal* dengan skala pembanding yang lebih kecil sesuai dengan alat pengukuran. *Prescaler* dapat bekerja bila daya *beat signal* memenuhi spesifikasi divais, di mana gelombang lokal dapat memroduksi frekuensi sinyal yang sesuai untuk pengukuran jika frekuensi yang diukur lebih tinggi daripada skala pembanding. Besarnya frekuensi keluaran *prescaler* dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

$$F_{out} = \frac{SEED}{2^{20}} \cdot F_{in} = \frac{\sum A_i \cdot 2^{(i-1)}}{2^{20}} \cdot F_{in} \quad (2.13)$$

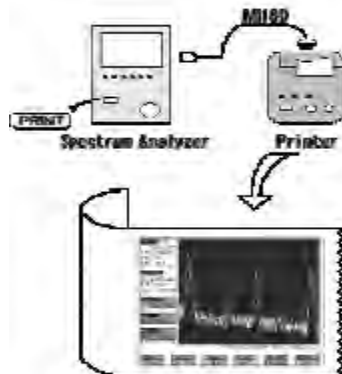
dengan A_i bernilai 0 (LO, VEE, OPEN) dan 1 (HI, GND) untuk $i = 1, 2, 3, \dots, 20$ atau i bernilai valid untuk $1 \leq SEED \leq 2^{19}$, dengan parameter pengaturan pada *prescaler* sebagai berikut:

- VEE = -3.3 V
- -GND = 0 V
- I_{ee} ~ 470 mA *clip on* atau *screw down*
- Differential inputs 50 Ohm SMA connectors
- Differential outputs R.L ~ -7 dB SMA connectors



Gambar 2.11 *Prescaller*

Kemampuan tala laser berkaitan dengan *beat signal* yang memiliki *phase noise* yang rendah, frekuensi tala yang lebar, daya tinggi, dan performansi yang baik dalam aplikasi komunikasi optik. *Tunability* laser dapat melebihi 12 GHz dengan pengurangan BER menyebabkan laser yang stabil dan efisien. *Beat signal* pada rentang frekuensi radio dapat diamati dengan *Radio Frequency (RF) Spectrum Analyzer*, di mana pengukuran sinyal dilakukan dalam domain frekuensi dan dapat diukur pula besarnya *signal to noise ratio* (SNR) yang merepresentasikan perbandingan antara daya *beat signal* dan *noise* pada *RF Spectrum Analyzer* saat dibangkitkan dengan level tertentu.



Gambar 2.12 Skema *Display RF Spectrum Analyzer* (Micronix, 2000)

2.5 Presisi

Presisi merupakan karakteristik sistem pengukuran yang tidak bergantung pada waktu. Presisi menunjukkan tingkat kebebasan alat ukur dari kesalahan acak, di mana pada pengukuran secara berulang maka sebaran hasil pembacaan akan berubah-ubah di sekitar nilai rata-rata pembacaan. Pada kondisi pengukuran berubah, presisi dapat dikatakan menjadi *reproducibility* yakni kedekatan pembacaan *output* untuk *input* yang sama saat metode pengukuran, pengamat, instrumen, lokasi, kondisi, dan waktu pengukuran berubah. Secara matematis presisi dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$presisi = \left(1 - \frac{|X_n - \bar{X}_n|}{\bar{X}_n}\right) \times 100\% \quad (2.14)$$

dengan X_n adalah nilai pengukuran ke- n dan \bar{X}_n adalah nilai rata-rata dari n pengukuran.

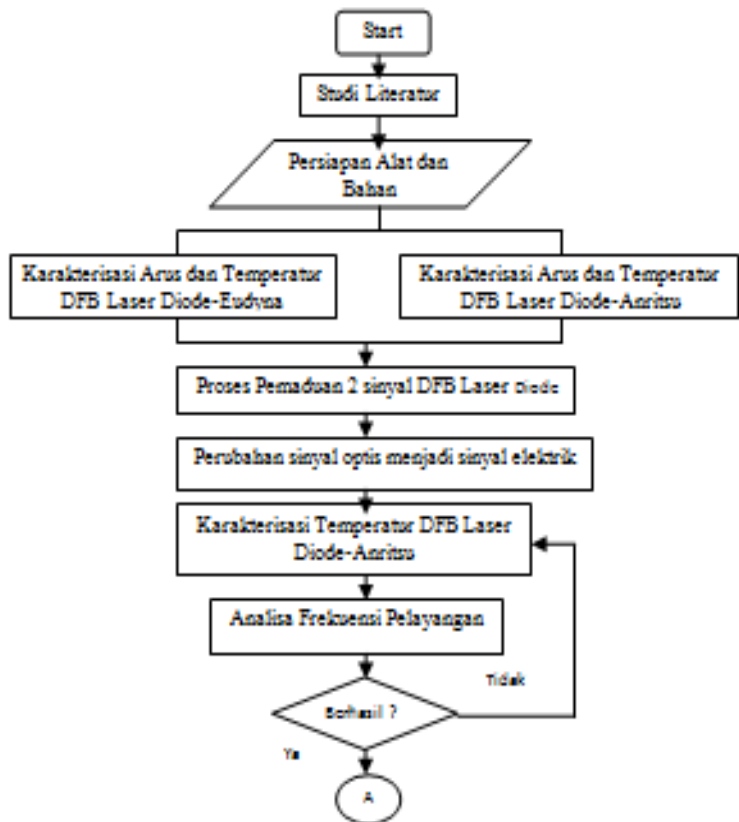
Berdasarkan parameter sampel, setelah kesalahan sistematis atau bias dihilangkan akan diperoleh ketelitian penaksiran parameter, di mana presisi menyatakan rentang nilai penaksiran parameter sasaran yang masih dianggap benar yakni, ditunjukkan oleh *confidence of level*. Penyebab rendahnya keterulangan yang paling umum adalah fluktuasi acak terhadap waktu dan efek lingkungan.

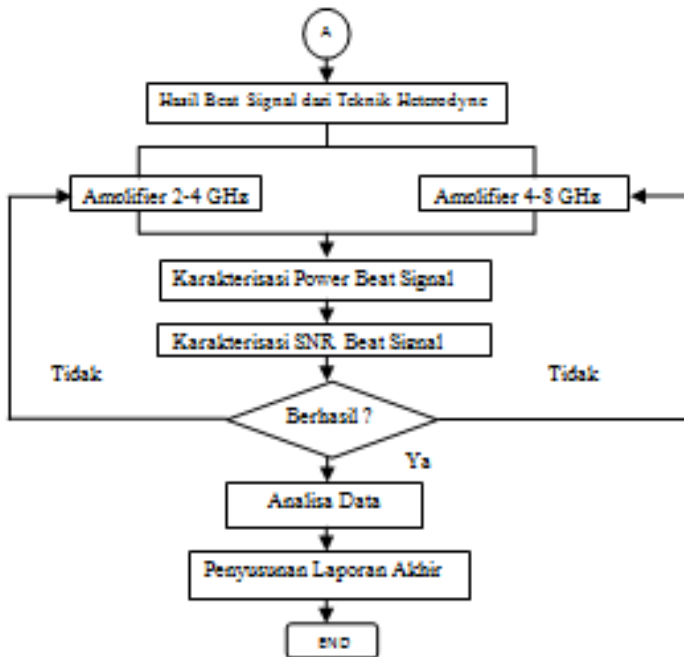
Teknik *heterodyne* menyebabkan kemampuan tala pada laser sehingga terjadi pergeseran panjang gelombang yang sesuai dengan teknik kontrolnya. Panjang gelombang yang dihasilkan memiliki kepresisian tertentu dan hanya beberapa jenis laser yang dapat di-*tuning* terus-menerus selama rentang panjang gelombang yang signifikan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Tugas akhir ini dilakukan dengan beberapa tahapan hingga tujuan dapat tercapai. Pengerjaan tugas akhir ini meliputi studi literatur, persiapan alat dan bahan, karakterisasi arus dan temperatur pada laser DFB, pemaduan 2 sinyal laser, pembangkitan *beat signal*, analisa frekuensi pelayangan, amplifikasi daya *beat signal*, analisa data dan penyusunan laporan. Tahapan – tahapan tersebut bisa dilihat pada diagram alir penelitian dibawah ini.



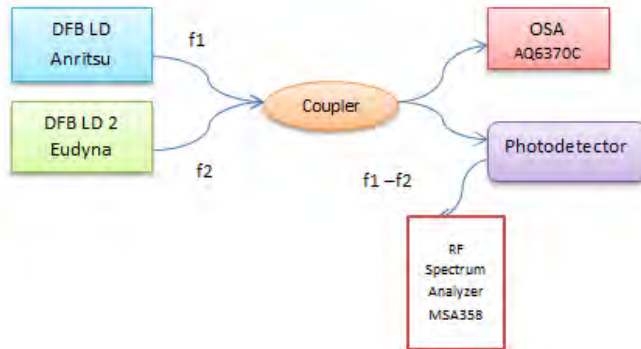


Gambar 3.1 Diagram Alir Metodologi Tugas Akhir

3.1 Skema Sistem Pengukuran *Tunability* Laser DFB

Fokus dari penelitian tugas akhir ini adalah perancangan sistem pengukuran *tunability* laser DFB. Perancangan sistem yang dibuat berupa *hardware* sistem pengukuran *tunability* laser DFB menggunakan teknik *heterodyne beat signal*. Pengukuran *tunability* laser DFB dilakukan secara langsung dengan menggunakan OSA dan melalui pengukuran frekuensi *beat signal* yang mampu tala dengan menggunakan *RF Spectrum Analyzer*. Arus injeksi dan temperatur operasional disesuaikan dengan kemampuan OEM laser diode *controller* ITC 102. Spektrum masing-masing laser diamati dengan menggunakan OSA, sedangkan sinyal optis dari 2 laser yang dipadukan menggunakan *fiber coupler* diubah menjadi sinyal elektrik menggunakan *high speed photodetector*. Teknik *heterodyne beat signal* digunakan untuk memperoleh *beat signal* dengan frekuensi sebesar selisih

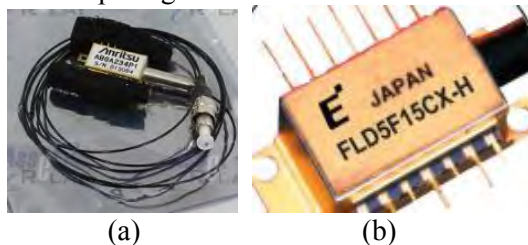
frekuensi 2 laser. Berikut skema sistem pengukuran *tunability* laser DFB dengan teknik *heterodyne beat signal*.



Gambar 3.2 Skema Sistem Pengukuran *Tunability* Laser DFB

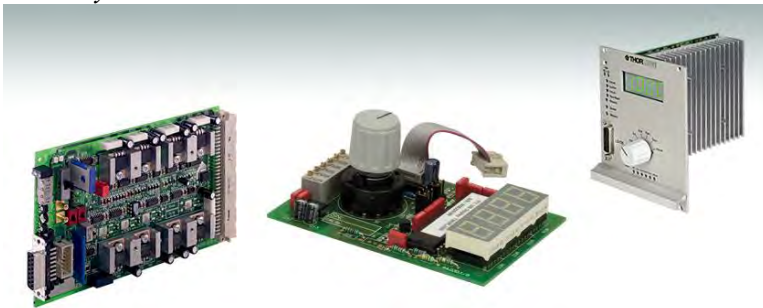
3.2 Persiapan *Hardware* Sistem Pengukuran *Tunability* Laser DFB

Berdasarkan skema sistem pengukuran pada gambar 3.2 susunan *hardware* yang dibutuhkan berupa laser DFB tipe Anritsu dan laser DFB tipe Eudyna, *fiber coupler*, OSA, fotodetektor, dan *RF Spectrum Analyzer*. Masing-masing laser DFB dibangkitkan dengan *laser driver* yang dikendalikan dengan OEM laser diode *controller* IT 102. laser DFB yang digunakan memiliki panjang gelombang yang berdekatan yakni, sekitar 1551 nm atau memiliki frekuensi sebesar 193 THz. laser DFB yang diukur dapat dilihat pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 Laser DFB, (a) Anritsu, dan (b) Eudyna

Perangkat selanjutnya berupa *fiber coupler* berukuran 50/50 yang berfungsi untuk memadukan 2 sinyal optis laser DFB. Sehingga akan diperoleh total jumlah frekuensi keseluruhan laser yang dapat diamati spektrumnya menggunakan OSA. Pengukuran *tunability* laser DFB dilakukan dengan melakukan *trigger* tegangan sumber pada kontrol arus injeksi dan kontrol temperatur operasional laser. *Trigger* tegangan pada kontrol arus dilakukan dengan memberi resistor seri pada laser sehingga pada arus tertentu dari kedua ujung resistor terdapat beda tegangan yang selanjutnya sebagai tegangan umpan balik ke sumber arus. Sedangkan pada kontrol temperatur, terjadi konversi tegangan menjadi tahanan resistor yang memberikan efek pemanasan di sekeliling laser oleh peltier yang dikontrol menggunakan TEC. *Settling time* dalam kontrol temperatur laser DFB adalah 5-8 detik sesuai perbedaan temperatur yang diinginkan dengan temperatur sekitar. Gambar 3.4 merupakan gambar rangkaian OEM laser diode *controller* ITC 102 yang digunakan untuk mengontrol arus injeksi dan temperatur operasional dalam sistem pengukuran *tunability* laser DFB.



Gambar 3.4 OEM Laser Diode *Controller* ITC 102

Pengukuran *tunability* laser DFB dilakukan secara langsung menggunakan OSA AQ 6370C yang memiliki kepresisian tertentu serta pengukuran dengan teknik *heterodyne* menggunakan *RF Spectrum Analyzer* tipe MSA358 yang dapat mengukur frekuensi dan daya *beat signal* hasil pelayangan. Dari dua pengukuran tersebut dapat diketahui informasi frekuensi masing-masing laser sebelum proses pelayangan dan besarnya

frekuensi dua laser yang telah dipadukan. Tipe OSA dan RF Spectrum Analyzer yang digunakan dapat dilihat pada gambar 3.5.



Gambar 3.5 *Spectrum Analyzer (a) OSA, (b) RF Spectrum Analyzer*

RF Spectrum Analyzer memerlukan baterai dengan masa operasi berkisar 150 menit. Untuk mendapatkan hasil pengamatan terbaik, frekuensi tengah diatur dengan resolusi 100 kHz dan *reference level* diatur 1 dB. Sedangkan spesifikasi OSA AQ6370C adalah sebagai berikut.

- *Wavelength range* : 600-1700 nm
- *Span* : 0,5 nm – 1100 nm
- *Wavelength linearity* : $\pm 0,01$ nm
- *Wavelength repeatability* : $\pm 0,005$ nm
- *Wavelength accuracy* : $\pm 5\%$
- *Minimal sampling resolution* : 0,001 nm

Sebelum dilakukan perancangan sistem pengukuran *tunability* laser DFB, terlebih dahulu dilakukan karakterisasi arus injeksi dan temperatur operasional pada masing-masing laser.

3.3 Karakterisasi Laser DFB

Karakterisasi laser DFB bertujuan untuk mengetahui spektrum laser dan kemampuan tala laser dengan memvariasikan arus injeksi dan temperatur operasional pada OEM Laser Diode *Controller* ITC 102. Kemampuan tala ditinjau dari pergeseran panjang gelombang dan daya optis yang diukur menggunakan OSA. Kontrol arus dan temperatur operasional dilakukan pada laser driver dengan mengatur tegangan yang masuk pada masing-masing kontrol. Selanjutnya, tegangan akan dikonversi menjadi

Tahap kedua, karakterisasi dilakukan dengan variasi arus injeksi pada masing-masing laser DFB pada temperatur operasional tetap pada 25°C, di mana rentang variasi arus injeksi yang divariasikan adalah 0-36 mA dengan kenaikan sebesar 0,4 mA. Tiap variasi arus dilakukan pengukuran panjang gelombang dan daya optis laser DFB sebanyak 3 kali dan pengukuran menggunakan OSA baik pada karakterisasi arus maupun temperatur operasional dilakukan dengan parameter-parameter berikut.

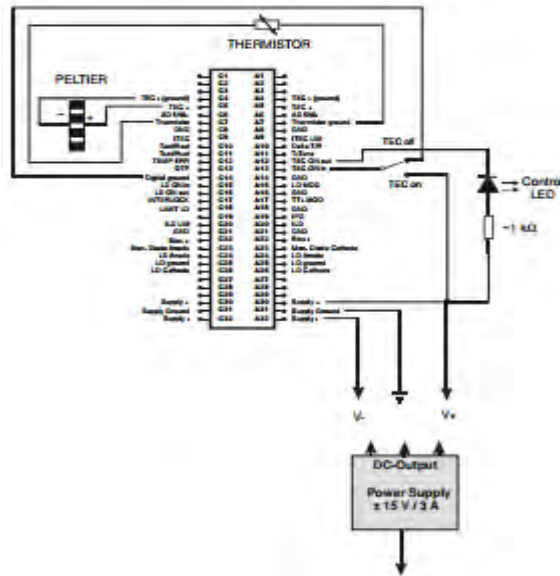
Tabel. 3.1 Nilai Parameter Pengukuran Daya Optis dan Panjang Gelombang Laser DFB

Parameter	Nilai
<i>Center wavelength</i>	1552nm
<i>Span</i>	10nm
<i>Reference level</i>	-10dBm
<i>Level scale</i>	10dB/div
<i>Resolution</i>	0.1
<i>Sensitivity</i>	Normal
<i>Average time</i>	1
Temperatur ruang	25°C

Kemampuan tala laser DFB dengan variasi temperatur dinyatakan dalam rasio perubahan panjang gelombang atau frekuensi laser terhadap perubahan temperatur yang dioperasikan serta pada variasi arus injeksi, kemampuan tala laser DFB dinyatakan oleh rasio perubahan panjang gelombang atau frekuensi laser terhadap arus injeksi yang dioperasikan, di mana frekuensi laser DFB diperoleh dengan persamaan berikut.

$$f = \frac{c}{\lambda} \text{ GHz} \quad (3.1)$$

dengan c merupakan kecepatan rambat cahaya (3×10^8 m/s) dan λ adalah panjang gelombang laser DFB (nm). Berikut mekanisme kontrol temperatur pada laser DFB.

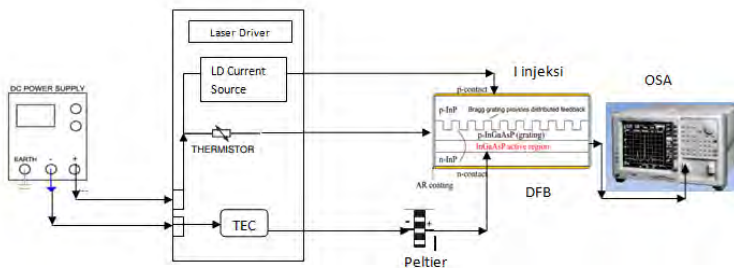


Gambar 3.7 *Temperature Controller*

Tunability laser DFB dengan variasi arus injeksi dan temperatur dinyatakan dalam satuan nm/mA dan nm/°C serta GHz/mA dan GHz/°C. Sedangkan pada pengukuran daya optis, konversi daya dari dBm menjadidi mW menggunakan persamaan:

$$P(\text{mW}) = 10^{\frac{P(\text{dBm})}{10}} \quad (3.2)$$

Berikut skema pengukuran panjang gelombang dan daya optis laser DFB dengan variasi arus injeksi dan temperatur operasional secara langsung.



Gambar 3.8 Skema Karakterisasi Laser DFB

Besarnya *noise* pada masing-masing laser DFB dapat diukur menggunakan OSA berdasarkan spektrum laser dari karakterisasi arus injeksi dan temperatur operasional, di mana *noise* yang diukur berupa *noise* tiap pita yang sempit sebesar 0,1 nm. Selain informasi *noise* laser, dapat diketahui pula besarnya *signal to noise ratio* (SNR) dari laser yaitu, rasio daya laser dibandingkan dengan *noise* pada laser. OSA mendeteksi gangguan pada laser dengan perubahan spektrum akibat mekanisme *pumping* atau pembalikan populasi pada laser DFB sehingga dapat diamati kemunculan *sideband* yakni, spektrum yang muncul di samping spektrum laser.

Sebelum pemaduan spektrum laser diaplikasikan, dilakukan karakterisasi besarnya daya optis laser melebihi 1 mW untuk membangkitkan fotodetektor. Karakterisasi untuk menghasilkan daya optis dengan memvariasikan nilai arus injeksi dan temperatur operasional diukur menggunakan *Optical Sensor* Anritsu MA9723A. Pengujian dilakukan dengan memvariasikan arus injeksi sebesar 2 mA dari 2-24 mA pada temperatur 25°C, di mana diperoleh nilai daya melebihi 1 mW pada laser DFB Anritsu dengan arus injeksi sebesar 16 mA dan arus sebesar 24 mA pada laser DFB Eudyna. Selanjutnya pengaturan arus injeksi pada masing-masing laser untuk pembangkitan fotodetektor dapat diaplikasikan dalam pemaduan 2 spektrum laser dengan teknik *heterodyne*.

3.4 Perancangan Sistem Pengukuran *Tunability* Laser DFB

Perancangan sistem pengukuran *tunability* laser DFB dengan teknik *heterodyne beat signal* diawali dengan menyusun seluruh *hardware* menjadi sebuah sistem pengukuran. Adapun prosedur-prosedur selanjutnya antara lain:

1. Laser dibangkitkan dengan menggunakan *laser driver* yang mampu mengendalikan arus injeksi dan temperatur operasional pada laser.

2. Selanjutnya, karakterisasi arus dan temperatur operasional dilakukan pada masing-masing laser untuk mengetahui spektrum dan kemampuan tala dari laser.
3. Pemaduan sinyal 2 laser dilakukan dengan menggunakan *fiber coupler*.
4. Sinyal optis yang dihasilkan dikonversi menjadi sinyal elektrik dengan menggunakan *high speed photodetector*.
5. Karakteristik dari laser diamati dengan menggunakan OSA, sedangkan sinyal hasil pelayangan diamati frekuensi dan daya *beat signal* menggunakan *RF Spectrum Analyzer*. Rentang frekuensi *beat signal* menunjukkan kemampuan tala dari laser DFB.

Pemaduan dua sinyal optis dari masing-masing laser DFB menggunakan *fiber coupler* dengan faktor pembagi intensitas 50/50 yakni, daya dari dua sinyal optis akan ditransmisikan sebesar 50% pada *output 1* dan 50% lainnya pada *output 2*. *Output 1* dihubungkan pada OSA untuk diamati spektrum kedua laser saat tepat berpadu dan saat tidak berpadu dari kontrol yang diberikan, sedangkan *output 2* dihubungkan pada *high speed photodetector* yang menubah sinyal optis menjadi sinyal listrik agar terjadi *beat signal* dengan frekuensi hasil pelayangan yang dapat diamati dengan *RF Spectrum Analyzer*. Frekuensi hasil pelayangan yang mampu dideteksi berada pada daerah frekuensi radio yaitu, selisih frekuensi antara dua laser DFB saat berpadu.

Cara memperoleh *beat signal* adalah dengan memvariasikan temperatur operasional laser DFB Anritsu pada berbagai arus injeksi berturut-turut sebesar 16, 20, dan 24 mA, di mana rentang temperatur yang dioperasikan pada tiap arus injeksi tidak sama bergantung pada kemunculan *beat signal* yang mampu dideteksi oleh *RF Spectrum Analyzer*. laser DFB Eudyna digunakan sebagai acuan dengan temperatur operasional sebesar 37,23°C dan arus injeksi sebesar 24 mA karena memiliki kestabilan spektrum tanpa adanya gangguan *sideband* seperti pada laser DFB Anritsu. Berikut skema pemaduan spektrum laser dengan

teknik *heterodyne* hingga dihasilkan *beat signal* pada *RF Spectrum Analyzer*.

Pada pembangkitan *beat signal*, sebelum diamati besarnya frekuensi pelayangan dengan teknik *heterodyne* terlebih dahulu dilakukan pengamatan terhadap besarnya *noise* dari *RF Spectrum Analyzer*. Untuk mengetahui besarnya *noise* pada berbagai arus injeksi yang akan dioperasikan, temperatur operasional diatur pada 25°C lalu dinaikkan sesuai dengan temperatur operasional dalam pembangkitan, di mana pada *RF Spectrum Analyzer* akan muncul *peak noise* sesaat setelah dinyalakan. Berdasarkan selisih *peak* dari kondisi mula-mula dan *peak* operasional diketahui besarnya *noise RF Spectrum Analyzer* selama pengoperasian.

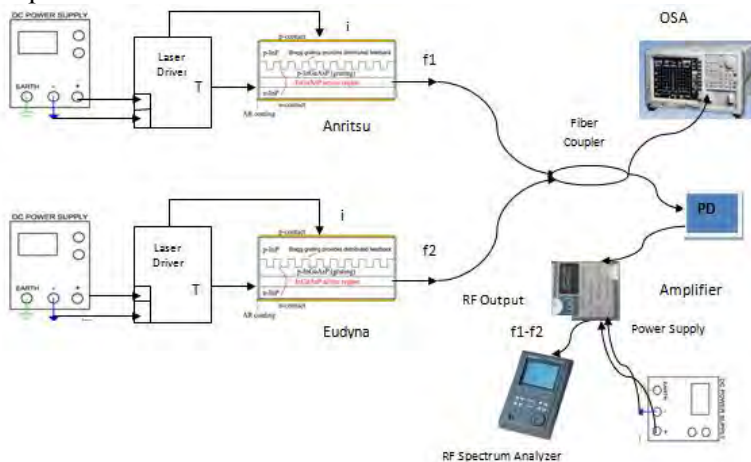
3.5 Amplifikasi Daya *Beat Signal*

Proses penguatan daya dilakukan dengan menghubungkan amplifier dan *high speed photodetector* menggunakan kabel, di mana untuk membangkitkan amplifier eksternal diperlukan tegangan sumber sebesar 15 V. Tegangan sumber perlu ditera dengan multimeter untuk memastikan bahwa tegangan yang masuk pada amplifier tepat sesuai dengan spesifikasi divais. Bila tegangan sumber yang masuk ke amplifier kurang dari 15 V maka amplifier tidak terbangkit dengan baik sehingga penguatan daya yang diperoleh juga tidak maksimal. Terdapat dua amplifier eksternal yakni, amplifier dengan *bandwith* 2-4 GHz dan amplifier yang memiliki *bandwith* 4-8 GHz. Amplifikasi daya *beat signal* bertujuan untuk menghasilkan *beat signal* yang mampu membangkitkan *prescaller* sebesar -15 dBm agar dapat diaplikasikan dalam Sistem Komunikasi Serat Optik secara *auto-tune*.

Seperti pada pepaduan spektrum laser untuk memperoleh *beat signal*, laser DFB Eudyna dijadikan sebagai acuan dan dilakukan variasi arus injeksi dan temperatur operasional pada laser DFB Anritsu. Laser DFB Eudyna dioperasikan dengan arus injeksi sebesar 13,64 mA dan temperatur sebesar 43,27°C. Sedangkan pada laser DFB Anritsu variasi arus injeksi berturut-turut sebesar 16, 20, 24 mA dengan kenaikan temperatur dalam

pengamatan sebesar $0,07^{\circ}\text{C}$. Penentuan rentang temperatur operasional dilakukan dengan menggeser temperatur laser DFB Anritsu hingga terjadi *beat signal* yang mampu dideteksi oleh *RF Spectrum Analyzer*.

Hasil pengamatan berupa daya *beat signal* dan besarnya frekuensi hasil pelayangan dibandingkan dengan data pengukuran sebelumnya tanpa menggunakan amplifier eksternal. Selanjutnya dalam aplikasi sistem *auto-tune*, bila daya *beat signal* tidak memenuhi kebutuhan *prescaller* maka dilakukan karakterisasi kembali pada laser DFB Anritsu dengan memvariasikan arus dan temperatur operasional hingga muncul *beat signal*, serta perlu melakukan pengukuran rugi-rugi daya pada *fiber coupler* sekaligus analisa terhadap *noise* pada masing-masing laser dan *RF Spectrum Analyzer*. Penentuan *tunability* laser DFB ditentukan oleh nilai frekuensi hasil pelayangan tiap satuan temperatur dengan kepresisian sistem pengukuran ditentukan oleh keterulangan nilai frekuensi selama tiga kali pengukuran pada *set-up* yang sama. Berikut skema amplifikasi *beat signal* dengan amplifier eksternal.



Gambar 3.9 Skema Amplifikasi Daya *Beat Signal*

3.6. Analisa dan Pembahasan

Dengan data yang telah diperoleh dari keseluruhan pengukuran, dilakukan analisa untuk menentukan *tunability* laser DFB dan kepresisian sistem pengukuran yang dirancang. Selain itu dilakukan pembahasan terhadap daya hasil amplifikasi dengan menggunakan amplifier eksternal. Penentuan *tunability* laser DFB dilakukan baik secara perhitungan maupun dari hasil pengukuran frekuensi hasil pelayangan, di mana dengan penggunaan teknik *heterodyne* kemampuan tala laser DFB diperoleh dari variasi arus injeksi dan temperatur operasional. Selain menganalisa daya dan *tunability* laser DFB juga dilakukan pengukuran *noise*, SNR, dan rugi-rugi daya pada *fiber coupler* yang mempengaruhi hasil amplifikasi *beat signal*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilaksanakan, dapat ditarik kesimpulan bahwa telah berhasil dirancang sistem pengukuran *tunability* laser DFB menggunakan teknik *heterodyne beat signal* dengan hasil *tunability* laser DFB sebesar 0,578-8,395 GHz pada rentang temperatur 32,87°C sampai 34,90°C dengan step pengukuran perbedaan temperatur sebesar 0,07°C serta diperoleh kepresisian mencapai 97,554%. Pengukuran menggunakan teknik ini menghasilkan kesimpulan bahwa perubahan frekuensi laser terhadap temperatur sebesar 9,06 GHz/°C dan bila pengukuran langsung menggunakan OSA perubahannya sebesar 11,44 GHz/°C. Daya terbesar *beat signal* hasil amplifikasi menggunakan amplifier 4-8 GHz dengan gain 25 dB adalah -38,9179 dBm, lebih kecil dari daya yang dibutuhkan untuk membangkitkan *prescaler* sebesar -15 dBm. Besarnya sinyal hasil amplifikasi mempunyai SNR sebesar 32 dB sehingga masih memungkinkan untuk diamplifikasi lagi.

5.2 Saran

Dari percobaan diamati bahwa terjadi rugi-rugi daya yang sangat besar dalam penyambungan laser dengan *coupler* akibat perbedaan jenis konektor. Oleh karena itu, dalam penelitian selanjutnya disarankan menggunakan jenis konektor yang sama untuk meningkatkan daya keluarannya

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN A

Hasil Karakterisasi Arus dan Temperatur Laser DFB

Hasil Karakterissai Temperatur Laser DFB Eudyna

T (°C)	λ rata-rata (nm)		f rata-rata (GHz)		P rata-rata (mW)	
	18 mA	22 mA	18 mA	22 mA	18 mA	22 mA
16,2	1551,1413	1551,2828	193405,9779	193388,3406	1,0499	1,5016
16,5	1551,1015	1551,2845	193410,9364	193388,1286	1,0479	1,5058
16,8	1551,1436	1551,2821	193405,6870	193388,4195	1,0511	1,5064
17,1	1551,1466	1551,1878	193405,3171	193400,1843	1,0440	1,5023
17,4	1551,1499	1551,2825	193404,9098	193388,3780	1,0479	1,4996
17,7	1551,1534	1551,2787	193404,4651	193388,8517	1,0458	1,5014
18,0	1551,1545	1551,2778	193404,3321	193388,9597	1,0447	1,5020
18,3	1551,1550	1551,2770	193404,2697	193389,0595	1,0454	1,5027
18,7	1551,1553	1551,2757	193404,2282	193389,2174	1,0437	1,5076
19,0	1551,1557	1551,2764	193404,1783	193389,1301	1,0456	1,5050
19,3	1551,1572	1551,2770	193403,9954	193389,0636	1,0402	1,5016
19,7	1551,1582	1551,2761	193403,8749	193389,1758	1,0434	1,5093
20,0	1551,1589	1551,2706	193403,7793	193389,8615	1,0444	1,5132
20,4	1551,1602	1551,2700	193403,6172	193389,9321	1,0406	1,5139
20,7	1551,1610	1551,2691	193403,5216	193390,0402	1,0431	1,5098
21,1	1551,1625	1551,2639	193403,3304	193390,6884	1,0388	1,5092
21,4	1551,1609	1551,2597	193403,5299	193391,2203	1,0454	1,5087
21,8	1551,1591	1551,2568	193403,7585	193391,5736	1,0441	1,5056
22,2	1551,1591	1551,2566	193403,7627	193391,6027	1,0459	1,5112
22,6	1551,1594	1551,2567	193403,7211	193391,5902	1,0462	1,5094
23,0	1551,1608	1551,2568	193403,5424	193391,5819	1,0397	1,5119
23,4	1551,1598	1551,2531	193403,6712	193392,0348	1,0483	1,5130
23,8	1551,1610	1551,2517	193403,5175	193392,2135	1,0443	1,5082
24,3	1551,1600	1551,2493	193403,6463	193392,5169	1,0475	1,5078

Lanjutan : Hasil Karakterisasi Temperatur Laser DFB Eudyna

T (°C)	λ rata-rata (nm)		f rata-rata (GHz)		P rata-rata (mW)	
	18 mA	22 mA	18 mA	22 mA	18 mA	22 mA
24,7	1551,1593	1551,2467	193403,7336	193392,8369	1,0463	1,5165
25,1	1551,1644	1551,2427	193403,0935	193393,3355	1,0428	1,5171
25,6	1551,1652	1551,2413	193403,0021	193393,5101	1,0452	1,5117
26,1	1551,1655	1551,2414	193402,9647	193393,4976	1,0429	1,5090
26,6	1551,1647	1551,2409	193403,0561	193393,5558	1,0384	1,5129
27,1	1551,1653	1551,2353	193402,9896	193394,2581	1,0416	1,5147
27,6	1551,1631	1551,2339	193403,2639	193394,4285	1,0336	1,5158
28,1	1551,1622	1551,2323	193403,3720	193394,6363	1,0430	1,5260
28,6	1551,1612	1551,2318	193403,4925	193394,6945	1,0405	1,5248
29,2	1551,1603	1551,2313	193403,6131	193394,7610	1,0466	1,5204
29,7	1551,1577	1551,2307	193403,9331	193394,8274	1,0392	1,5226
30,3	1551,1550	1551,2308	193404,2697	193394,8191	1,0479	1,5210
30,9	1551,1719	1551,2307	193402,1584	193394,8274	1,0422	1,5205
31,5	1551,2337	1551,2405	193394,4617	193393,6057	1,0222	1,5158
32,1	1551,3028	1551,3102	193385,8390	193384,9165	0,9963	1,4991
32,8	1551,3555	1551,3658	193379,2780	193377,9941	0,9873	1,4793
33,5	1551,4258	1551,4345	193370,5112	193369,4268	0,9670	1,4559
34,2	1551,4983	1551,5040	193361,4752	193360,7648	0,9436	1,4400
34,9	1551,5613	1551,5703	193353,6239	193352,5065	0,9212	1,4123
35,6	1551,6361	1551,6551	193344,3028	193341,9395	0,8985	1,3840
36,4	1551,7221	1551,7260	193333,5914	193333,0972	0,8732	1,3620
37,2	1551,7834	1551,7891	193325,9458	193325,2440	0,8485	1,3361

Hasil Karakterisasi Temperatur Laser DFB Anritsu

T (°C)	λ (nm)		f (GHz)		P (mW)	
	18 mA	22 mA	18 mA	22 mA	18 mA	22 mA
15,9	1551,7140	1551,7775	193334,5965	193326,6809	0,9635	1,3272
16,2	1551,7130	1551,7764	193334,7210	193326,8179	0,9612	1,3357
16,5	1551,7131	1551,7761	193334,7044	193326,8553	0,9565	1,3322
16,8	1551,7130	1551,7749	193334,7169	193327,0048	0,9612	1,3362
17,1	1551,7135	1551,7744	193334,6546	193327,0713	0,9628	1,3384
17,4	1551,7132	1551,7721	193334,6961	193327,3620	0,9582	1,3350
17,7	1551,7128	1551,7713	193334,7460	193327,4616	0,9608	1,3337
18,0	1551,7130	1551,7707	193334,7169	193327,5281	0,9601	1,3359
18,3	1551,7125	1551,7695	193334,7792	193327,6817	0,9651	1,3359
18,6	1551,7126	1551,7685	193334,7750	193327,8063	0,9636	1,3312
18,9	1551,7131	1551,7676	193334,7086	193327,9143	0,9629	1,3276
19,3	1551,7127	1551,7668	193334,7584	193328,0181	0,9618	1,3306
19,6	1551,7124	1551,7656	193334,8000	193328,1676	0,9672	1,3353
19,9	1551,7127	1551,7654	193334,7626	193328,1967	0,9634	1,3351
20,3	1551,7133	1551,7645	193334,6837	193328,3005	0,9631	1,3381
20,6	1551,7144	1551,7637	193334,5508	193328,4043	0,9590	1,3388
21,0	1551,7146	1551,7622	193334,5258	193328,5870	0,9613	1,3335
21,4	1551,7148	1551,7608	193334,5009	193328,7656	0,9590	1,3300
21,8	1551,7152	1551,7597	193334,4469	193328,9027	0,9558	1,3379
22,1	1551,7158	1551,7591	193334,3680	193328,9733	0,9588	1,3324
22,5	1551,7166	1551,7585	193334,2767	193329,0563	0,9614	1,3382
22,9	1551,7167	1551,7571	193334,2559	193329,2307	0,9610	1,3405
23,3	1551,7172	1551,7561	193334,1978	193329,3553	0,9610	1,3396
23,8	1551,7180	1551,7551	193334,1022	193329,4758	0,9667	1,3327
24,2	1551,7188	1551,7542	193334,0026	193329,5920	0,9640	1,3443

T (°C)	λ (nm)		f (GHz)		P (mW)	
	18 mA	22 mA	18 mA	22 mA	18 mA	22 mA
24,6	1551,7190	1551,7533	193333,9776	193329,7000	0,9612	1,3368
25,1	1551,7194	1551,7525	193333,9278	193329,7997	0,9600	1,3385
25,5	1551,7193	1551,7518	193333,9361	193329,8869	0,9595	1,3380
26,0	1551,7195	1551,7512	193333,9153	193329,9575	0,9592	1,3334
26,5	1551,7197	1551,7498	193333,8821	193330,1319	0,9594	1,3404
27,0	1551,7196	1551,7490	193333,8987	193330,2316	0,9629	1,3337
27,5	1551,7197	1551,7479	193333,8863	193330,3686	0,9604	1,3422
28,0	1551,7201	1551,7471	193333,8406	193330,4766	0,9622	1,3376
28,5	1551,7206	1551,7458	193333,7700	193330,6303	0,9585	1,3373
29,1	1551,7207	1551,7459	193333,7575	193330,6261	0,9590	1,3383
29,6	1551,7215	1551,7462	193333,6620	193330,5888	0,9627	1,3409
30,2	1551,7220	1551,7512	193333,5956	193329,9617	0,9626	1,3383
30,8	1551,7229	1551,7585	193333,4917	193329,0563	0,9625	1,3394
31,4	1551,7237	1551,7593	193333,3879	193328,9567	0,9616	1,3331
32,0	1551,7245	1551,7598	193333,2924	193328,8902	0,9593	1,3339
32,7	1551,7256	1551,7595	193333,1470	193328,9276	0,9540	1,3343
33,3	1551,7292	1551,7592	193332,6985	193328,9650	0,9593	1,3290
34,0	1551,7814	1551,7985	193326,1950	193324,0730	0,9441	1,3271
34,8	1551,8344	1551,8531	193319,6006	193317,2670	0,9363	1,3116
35,5	1551,9052	1551,9211	193310,7770	193308,8006	0,9190	1,2954
36,3	1551,9577	1551,9782	193304,2335	193301,6801	0,9094	1,2877

Hasil Karakterisasi Arus dan Daya Laser DFB

I (mA)	λ (nm)		P (mW)	
	Eudyna	Anritsu	Eudyna	Anritsu
2	1550,9807	1551,5587	0,00022	0,00042
4	1550,7093	1551,9181	0,00063	0,00147
6	1551,6000	1551,6669	0,00125	0,00340
8	1551,4000	1551,5393	0,00212	0,05223
10	1551,2072	1551,5471	0,02737	0,38000
12	1551,2152	1551,5563	0,23300	0,68300
14	1551,2217	1551,5663	0,45300	1,00100
16	1551,2289	1551,5767	0,64600	1,35000
18	1551,2366	1551,5869	0,86433	1,66000
20	1551,2426	1551,5973	1,07267	1,98333
22	1551,2488	1551,6078	1,30000	2,31000
24	1551,2562	1551,6189	1,51000	2,64000
26	1551,2651	1551,6296	1,72000	2,97000
28	1551,2726	1551,6406	1,95000	3,29000
30	1551,2826	1551,6514	2,16000	3,62000
32	1551,2935	1551,6627	2,36000	3,94000
34	1551,3016	1551,6729	2,57000	4,29000
36	1551,3096	1551,6784	2,78000	4,61000
38	1551,3181	1551,7155	2,99000	4,93000
40	1551,3293	1551,7216	3,20000	5,26000

LAMPIRAN B
Hasil Pengukuran *Tunability* Laser DFB

T (°C)			f (GHz)		
16 mA	20 mA	24 mA	16 mA	20 mA	24 mA
34,9024	34,8290	34,6829	7,1853	8,1600	8,1940
34,8290	34,7558	34,6102	6,2900	7,8880	7,6953
34,7558	34,6829	34,5378	5,5307	7,6840	7,2420
34,6829	34,6102	34,4657	5,3153	6,8000	6,9247
34,6102	34,5378	34,3938	4,1820	6,1653	5,8253
34,5378	34,4657	34,3221	3,2300	5,8593	5,3380
34,4657	34,3938	34,2507	2,5047	4,4087	4,6807
34,3938	34,3221	34,1796	1,4167	3,3047	3,9213
34,3221	34,2507	34,1086	1,0540	2,6973	3,6493
34,2507	34,1796	34,0380	0,8613	2,0060	3,2753
34,1796	34,1086	33,9675	0,6913	1,4620	1,9947
34,1086	34,0380	33,8973	1,6433	0,8500	1,7907
34,0380	33,9675	33,8274	1,8020	1,0087	1,2580
33,9675	33,8973	33,7577	1,9267	1,0313	0,5780
33,8973	33,8274	33,6882	3,1280	2,2327	1,1560
33,8274	33,7577	33,6189	3,9100	2,4820	1,5300
33,7577	33,6882	33,5499	4,4880	2,7880	2,3460
33,6882	33,6189	33,4811	5,2020	3,4680	2,8107
33,6189	33,5499	33,4126	6,0973	3,7967	3,4680
33,5499	33,4811	33,3442	6,1087	4,7147	3,6720
33,4811	33,4126	33,2761	7,5140	5,4513	4,9300
33,4126	33,3442	33,2082	8,3953	6,1880	5,0433
	33,2761	33,1406		6,358	6,31267
	33,2082	33,0731		7,6387	6,50533
	33,1406	33,0059		8,262	6,766
		32,9389			7,59333
		32,8721			8,14867

LAMPIRAN C

Hasil Amplifikasi Daya *Beat Signal*

Hasil Karakterisasi Amplifier 2-4 GHz

T (°C)	f (GHz)	P (dBm)
43,71	2,1560	-64,0000
43,60	2,4820	-66,5333
43,49	2,5160	-66,8000
43,38	2,4820	-71,6000
43,27	2,4820	-72,1333
43,16	2,4820	-61,6000
43,05	2,4820	-60,2667
42,94	2,4820	-66,0000
42,84	2,4933	-58,8000
42,73	2,4820	-66,8000
42,62	2,4820	-63,3333
42,52	4,0120	-55,0667
42,41	3,3840	-57,0667
42,31	1,9720	-55,0667
42,21	2,4820	-66,8000
42,10	2,4707	-61,8667
42,00	1,3940	-73,0000
41,90	2,9353	-54,8000
41,79	3,5700	-56,4000
41,69	3,2300	-56,8000
41,59	2,4820	-59,7333
41,49	2,4933	-65,8667
41,39	2,4820	-61,6000
41,29	2,4820	-67,8667

Lanjutan : Hasil Karakterisasi Amplifier 2-4 GHz

T (°C)	f (GHz)	P (dBm)
41,19	2,3233	-64,1333
41,09	2,4820	-58,9333
41,00	2,4820	-68,5333
40,90	2,4820	-67,4667
40,80	2,4933	-63,7333
40,70	2,4820	-64,1333
40,61	2,4820	-67,0667
40,51	2,4820	-62,8000
40,41	2,4820	-60,6667
40,32	2,4820	-69,6000
40,22	2,4820	-64,4000
40,13	2,4820	-67,8667
40,04	2,4820	-66,6667
39,94	2,4820	-67,6000
39,85	2,4820	-69,0667

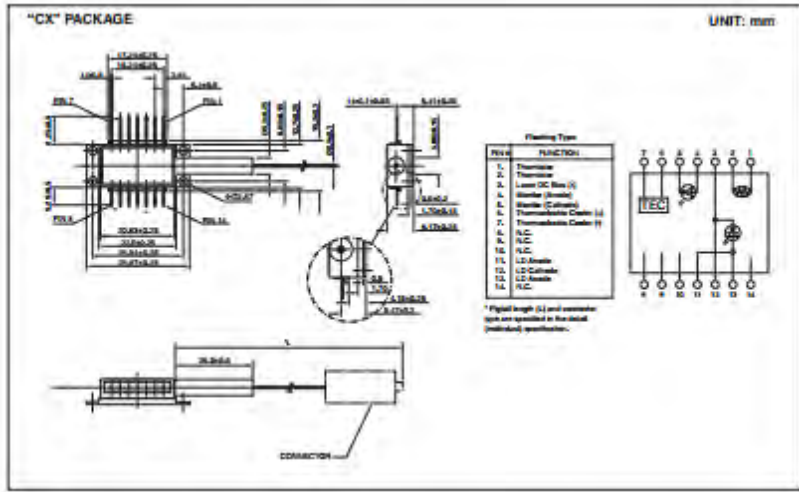
Hasil Karakterisasi Amplifier 4-8 GHz

T (°C)			f (GHz)		
16 mA	20 mA	24 mA	16 mA	20 mA	24 mA
34,90	34,68	34,61	8,0383	7,5593	7,7180
34,83	34,61	34,54	6,8567	6,6867	6,8680
34,76	34,54	34,47	5,7687	5,4627	6,0293
34,68	34,47	34,39	5,3493	5,1227	5,9387
34,61	34,39	34,32	4,5333	4,7033	5,1000
34,54	34,32	34,25	4,1253	4,1593	4,6240
34,47	34,25	34,18	4,0573	3,9327	4,7033
34,39	34,18	34,11	4,0347	3,1960	3,9553
34,32	34,11	34,04	3,1960	2,9240	3,4680
34,25	34,04	33,97	3,2413	2,7880	3,2640
34,18	33,97	33,90	2,1533	2,6520	2,9807
34,11	33,90	33,83	1,8927	2,7427	2,9467
34,04	33,83	33,76	1,8700	2,5047	2,6973
33,97	33,76	33,69	1,9040	2,5160	3,1620
33,90	33,69	33,62	1,8473	2,5373	2,9353
33,83	33,62	33,55	1,8247	2,5160	2,4027
33,76	33,55	33,48	1,8247	2,2780	2,4480
33,69	33,48	33,41	1,8360	2,1307	2,5047
33,62	33,41	33,34	1,8133	2,0513	2,2667
33,55	33,34	33,28	1,8587	2,0627	2,3687
33,48	33,28	33,21	1,9833	1,9607	2,2780
33,41	33,21	33,14	1,9040	1,9040	2,3007
33,34	33,14	33,07	2,1080	1,9153	2,2667
33,28	33,07	33,01	2,0627	1,9380	2,0060
33,21	33,01	32,94	1,9833	1,8473	1,8133
33,14	32,94		1,9040	1,7340	
33,07			1,8360		

LAMPIRAN D

Laser DFB

Floating Type DFB Laser



Display Tegangan Laser DFB



DAFTAR PUSTAKA

- Anandarajah, Prince. 2010. **Characterization of Wavelength Tunable Lasers for Future Optical Communication Systems**. Irlandia : Dublin City University
- A. Vicet, D.A Yarekha, A. Ouvrard, R. Teissier, C. Alibert and A.N. Baranov. 2003. "Tunability of antimode-based semiconductor lasers diodes and experimental evaluation of thermal resistance". **IEEE Proceedings-Optoelectron Vol.150**
- C. Greiner, B. Boggs, T.wang, T.W Mossberg. 1998. **Laser Frequency Stabilization by Means of Optical Self-Heterodyne Beat-Frequency Control**. Oregon : University of Oregon
- Daryatno, Arief. 1997. **Pembuatan Tunabel Laser pada Panjang Gelombang 780nm dengan Teknik *Grating Feedback* untuk Memenuhi Salah Satu Kriteria Sumber Komunikasi Optik Koheren**. Bandung : Sekolah Tinggi Teknologi TELKOM
- David Wake, Claudio R. Lima, and Philip A. Davies. 1995. "Optical Generation of Milimeter-Wave Signals for Fiber-Radio Systems Using a Dual-Mode DFB Semiconductor Laser". **IEEE Transactions on Microwave and Techniques. Vol 43**
- G. R. Olbright, R. P. Bryan, W. S. Fu, R. Apte, D. M. Bloom, and Y. H. Lee. 1991. "Linewidth, Tunability, and VHF-Milimeter Wave Frequency Synthesis of Vertical-Cavity GaAs Quantum-Well Surface-Emitting Laser Diode Arrays". **IEEE Photonics Technology Letters Vol.3**
- Jean-Daniel D. and Jerome Genest. 2013. **Signal to noise ratio o heterodyne beats between a comb and a continous wave laser above the limit of a single mode**. Canada : Universite Laval
- Jost, John. 2002. **Continuously Tunable, Precise, Single Frequency Optical Signal Generator**. Colorado : University of Colorado

- Kang Hyuk Kwon, Bong Soo Kim, and Kyuman Cho. 2008. **A New Scanning Heterodyne Interferometer Scheme for Simultaneous Mapping of Topography and effective Local Reflection Coefficient of a Surface**. Korea : Sogang University
- Kazuya Nakayama, Shigeki Okajima, Kazuo Kawahata, Kenji Tanaka, and Tsuyoshi Akiyama. 2011. **Application of a GaAs Schottky Barrier Diode Mixer to Beat Signal Detection of the 5-6 THz band**. Japan : Chubu University and National Institute for Fusion Science
- Khairudin, M. 2011. **Sensor Thermal**. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta
- Klotzkin, David J. 2014. **Introduction to Semiconductor Laser for Optical Communications**. USA : Springer
- Leclin, G. Lucas. 2005. **Extended Cavity Lasers with Fixed and Dynamic Gratings**. Paris : Annual Plenary Meeting
- Maznev, A.A and K.A Nelson. **Optical heterodyne detection of laser-induced gratings**. Massachusetts : MIT
- M.B Frish, R.T Wainner, M.C Laderer, K.R Parameswaren, D.M Sonnenfroh, and M.A Druy. 2008. **Precision and Accuracy of Miniature Tunable Diode Laser Absorption Spectrometers**. New England : Physical Sciences Inc
- Mei, Liang. 2014. **Light Propagation and Gas Absorption Studies in Turbid Media Using Tunable Diode Laser Techniques**. Sweden: Lund University
- Nobuhiro Nunoya, Monir Morshed, Shigeo Tamura, and Shigehisa Arai. 2000. **High Performance Operation of ain-Matched DFB Lasers**. Japan : Tokyo Institute of Technology
- Peng, Yu. 2011. **A novel scheme for hundred-hertz linewidth measurements with self-heterodyne method**. Beijing : Beijing Institute of Technology
- Shintaro Hisatake, Jae-Young Kim, Katsuhiro Ajito, and Tadao Nagatsuma. 2014. "Self-Heterodyne Spectrometer Using Uni-Traveling-Carrier Photodiodes for Terahertz-Wave

- Generators and Optoelectronic Mixers”. **Journal of Lightwave Technology Vol.32**
- Shiraz and Ghafouri, H. 2003. **Distributed Feedback Laser Diodes and Optical Tunable Filters**. UK : University of Birmingham
- Sianipar, Rudi. 2011. **Perancangan dan Implementasi Alat Ukur Daya Optik Berbasis Mikrokontroler AT MEGA 8535 dengan Tampilan di Komputer**. Bandung : Institut Teknologi Telkom
- S.T. Winnall and A.C. Lindsay. 1999. “DFB Semiconductor Diode Laser Frequency Stabilization Employing Electronic Feedback and Bragg Grating Fabry-Perot Interferometer”. **IEEE Photonics Technology Letters Vol.11**
- Suematsu, Yusuharu and Iga,kenichi. 2008. “Semiconductor Lasers in Photonics”. **Journal of Lightwave Technology Vol.26**
- Su, Yi-Shin, Ching-Fuh Lin, Bing-Ruey Wu, Lih-Wen Lai, and Wen-Jang Ho. **Broadband Tunability of External-Cavity Semiconductor Lasers for Optical Communication**. Taiwan : National Taiwan University and Chunghua Telecom Co.
- Thomas, Siby and Haider, Nishi. S. 2013. **A Study on Basics of A Spectrum Analyzer**. India: Chhattisgarh
- Tresna, Wildan dan Yudhasari, Nurfina. 2011. **Perancangan Laser Osilator Sebagai Sumber Gelombang Mikro yang Tunable dan Stabil**. Serpong : Pusat Penelitian Fisika-LIPI
- Widiyatmoko, Bambang dan Tresna, Wildan. 2012. **Pengujian Kestabilan Laser Dioda Sebagai Prasyarat Sistem Pembangkitan Gelombang Mikro**. Serpong : Pusat Penelitian Fisika-LIPI
- Xiaohui-Li, Ya-Liu, Danni-Wang, and Yujing-Bian. 2007. **Heterodyne Frequency Measurement Method Based on Virtual Instrument**. China: Chinese Academy of Science

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Siti Sulikhah, dilahirkan di Kota Magetan pada tanggal 22 Februari 1993. Memulai Sekolah Dasar di SDN Sundul 2 pada tahun 1999 hingga 2005. Kemudian Penulis melanjutkan bersekolah di SMP Negeri 2 Parang hingga tahun 2008. Jenjang selanjutnya, Penulis bersekolah di SMA Negeri 2 Magetan hingga tahun 2011. Penulis melanjutkan studi di Jurusan Teknik Fisika Fakultas Teknologi Industri ITS Surabaya. Selama terdaftar sebagai mahasiswa, Penulis tercatat menjadi asisten di Laboratorium Rekayasa Fotonika sekaligus menjadi presiden ITS SPIE Student Chapter periode kepengurusan tahun 2014-2015. Penulis dapat dihubungi di email sulikhah22@gmail.com.